



**Universidad del Azuay**

**Facultad de Ciencia y Tecnología**

**Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE  
PROPULSIÓN TÉRMICO – ELECTRÓNICO DE UN  
VEHÍCULO HÍBRIDO**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de  
Ingeniero Mecánico Automotriz**

**AUTORES**

**LUIS ALBERTO ROMO VÉLEZ  
PEDRO JOSÉ HIDALGO CORDERO**

**DIRECTOR**

**Germán Alfonso Zúñiga Cabrera.**

**Cuenca, Ecuador  
2013**

## **Dedicatoria**

El presente trabajo de grado lo dedico con todo cariño y respeto a mis progenitores, quienes con amor y sacrificio me han sabido guiar y enrumbar hacia un futuro mejor.

Gracias queridos padres por su apoyo incondicional, sabios consejos y denodada entrega, forjando así los caminos del bienestar, el sendero de la ciencia, los ánimos de superación, y mi personalidad.

Luis Alberto Romo Vélez

## **Dedicatoria**

Dedicado con todo mí cariño:

A Taty, mi amiga y compañera en la vida, que con todo su amor y apoyo me ha ayudado a sacar adelante este proyecto.

A mis padres, que me han dado tanto y me han sabido guiar y acompañar en el camino para alcanzar siempre las metas propuestas.

A mis hermanos, porque con su ejemplo de superación me demuestran que siempre se puede llegar más lejos.

A valentina, que con su inocencia me motiva a ser mejor todos los días.

A todos ellos, por formar parte de mi vida.

Pedro José Hidalgo Cordero

## **Agradecimiento**

Queremos agradecer a la Universidad del Azuay, templo de ciencia que abre sus puertas para impartir conocimiento y entregar a la colectividad a los nuevos hacedores del presente y del mañana.

Al mismo tiempo agradecemos al Ingeniero Germán Zúñiga Cabrera, Director de la tesis, al Ingeniero Hernán Viteri Cerda, Presidente, e Ingeniero Pablo Segarra, vocal, quienes con tesón y entrega supieron sembrar en nosotros conocimientos valiosos para nuestra superación.

*Obispo  
090113*

## RESUMEN

### DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN TÉRMICO – ELECTRÓNICO DE UN VEHÍCULO HÍBRIDO

Esta tesis tuvo por objeto el análisis del principio de funcionamiento de los sistemas de propulsión térmico – electrónico presentes en los vehículos híbridos. El proyecto combinó un motor de combustión interna con un motor eléctrico, considerando la tecnología híbrida de configuración en serie, en donde el motor eléctrico es el que genera trabajo y el motor de combustión interna se emplea para cargar el banco de baterías. Una vez que se analizó los diferentes tipos de tecnologías híbridas y sus componentes, se procedió a la construcción del sistema de propulsión híbrida. Como resultado final se demostró el principio de funcionamiento de los sistemas híbridos, además se encontró que el proyecto es completamente factible y ejecutable para ser adaptado en un vehículo convencional.

**Palabras claves.-** Propulsión, térmico – electrónico, híbrido, motor eléctrico, motor de combustión interna, banco de baterías.



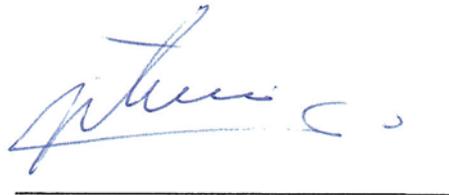
**Luis Alberto Romo Vélez**  
Autor de la tesis



**Pedro José Hidalgo Cordero**  
Autor de la tesis



**Ing. Germán Zúñiga Cabrera**  
Director de la tesis



**Ing. Hernán Viteri Cerda**  
Junta Académica

*Handwritten signature and date: 09/01/13*

## ABSTRACT

### DESIGN AND CONSTRUCTION OF THE THERMAL-ELECTRONIC PROPULSION SYSTEM OF A HYBRID VEHICLE

The goal of this thesis was to analyze the operation principals of thermal-electronic propulsion systems, which are part of hybrid vehicles. The project combined an internal combustion engine with an electronic engine. The serial configuration of hybrid technology was taken into account. In this type of technology the electronic engine generates work and the internal combustion engine is employed to charge the battery bank. Once the different types of hybrid technologies and their components were analyzed, we proceeded to the construction of the hybrid propulsion system. As a result, we were able to demonstrate the operations principle of the hybrid systems. In addition, we found that the project is completely feasible and can be adapted to a conventional vehicle.

**Key Words:** Propulsion, thermal-electronic, hybrid, electronic engine, internal combustion engine, battery bank.

Luis Alberto Romo Vélez  
Author

Pedro José Hidalgo Cordero  
Author

Ing. Germán Zuñiga Cabrera  
Thesis Director

Ing. Hernán Viteri Cerda  
Academic Board

Translated by,  
Diana Lee Rodas



**ÍNDICE DE CONTENIDOS**

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iv
Resumen.....	v
Abstract.....	vi
Índice de contenidos.....	vii
Índice de tablas.....	xi
Índice de figuras.....	xii
Índice de anexos.....	xiv
 INTRODUCCIÓN.....	 1

**CAPÍTULO 1: SISTEMAS DE PROPULSIÓN HÍBRIDA**

1.1	Introducción.....	2
1.2	Características del sistema híbrido.....	2
1.3	Sistema de operación del sistema híbrido.....	5
1.3.1	Arranque o puesta en marcha.....	5
1.3.2	Conducción normal.....	5
1.3.3	Aceleración fuerte.....	5
1.3.4	Desaceleración, frenado.....	5
1.3.5	Parada.....	7
1.4	Tipos de sistemas híbridos.....	8
1.4.1	Sistema híbrido en serie.....	8
1.4.2	Sistema híbrido en paralelo.....	10
1.4.3	Sistema híbrido mixto.....	11
1.5	Ventajas de los sistemas híbridos.....	12
1.6	Conclusiones.....	15

**CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES DE UN SISTEMA HÍBRIDO**

2.1	Introducción.....	17
2.2	Motor de combustión interna.....	17
2.3	Moto – Generador.....	19
2.4	Inversor.....	22

2.5	Batería de alto voltaje HV.....	26
2.6	Transmisión híbrida.....	28
2.7	Unidad de control electrónica.....	33
2.7.1	Estrategias de control híbrida.....	35
2.7.1.1	Detenido.....	35
2.7.1.2	Arranque.....	36
2.7.1.3	Conducción normal.....	36
2.7.1.4	Máxima aceleración y altas velocidades.....	37
2.7.1.5	Desaceleración y frenado.....	37
2.7.1.6	Reversa.....	39
2.8	Conclusiones.....	39

### **CAPÍTULO 3: CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA HÍBRIDO – CONFIGURACIÓN SERIE**

3.1	Introducción.....	41
3.2	Sistema híbrido en serie.....	41
3.3	Etapa eléctrica.....	43
3.3.1	Batería.....	43
3.3.2	Inversor.....	46
3.3.2.1	Análisis del inversor.....	47
3.3.2.2	Control de los transistores de potencia.....	48
3.3.3	Regulador AC.....	49
3.3.4	Driver (controlador del motor eléctrico).....	51
3.3.4.1	Etapas del variador de velocidad.....	52
3.3.4.2	Comando y configuración.....	53
3.3.4.3	Entrada analógica.....	54
3.3.4.4	Control del sentido de giro.....	55
3.3.4.5	Diagrama de bloques.....	56
3.3.5	Motor eléctrico trifásico.....	56
3.3.5.1	Partes principales.....	56
3.3.5.2	Principio de funcionamiento.....	59
3.4	Etapa térmica.....	60
3.4.1	Motor de combustión interna.....	61
3.4.1.1	Principio de funcionamiento.....	63
3.4.2	Unidad de control electrónica del motor de combustión interna.....	65
3.4.2.1	Hardware de la unidad de control electrónica.....	65

3.4.2.2	Microcontrolador.....	67
3.4.2.3	Adquisición del nivel de carga de la batería.....	67
3.4.2.4	Partidor de tensión.....	67
3.4.2.5	Convertor analógico – digital.....	70
3.4.2.6	Registros del módulo A/D.....	71
3.4.2.7	Procesamiento de datos.....	76
3.4.2.8	Programación.....	83
3.4.2.9	Accionamiento del motor de combustión.....	85
3.4.3	Proceso de carga de la batería.....	89
3.4.3.1	Alternador.....	89
3.5	Visualización de datos.....	93
3.5.1	Panel frontal.....	93
3.5.2	Diagrama de bloques.....	93
3.5.3	Adquisición de datos (DAQ).....	94
3.5.4	Diagrama de bloques de una tarjeta DAQ.....	96
3.5.5	Interfaces y Periféricos.....	97
3.5.6	Procesamiento de datos.....	97
3.5.7	Panel frontal en Labview del sistema híbrido.....	98
3.5.8	Diagrama de bloques en Labview del sistema híbrido.....	98
3.6	Conclusiones.....	99

## **CAPÍTULO 4: PRUEBAS DEL SISTEMA HÍBRIDO EN SERIE**

4.1	Introducción.....	101
4.2	Prueba de autonomía del sistema híbrido.....	101
4.2.1	Energía que aporta el combustible.....	101
4.2.2	Energía que consume el motor eléctrico.....	102
4.3	Potencia que entrega la batería a los consumidores.....	107
4.4	Potencia que entrega el alternador a la batería.....	107
4.5	Tiempo de carga de la batería.....	108
4.5.1	Tiempo de carga teórico.....	108
4.5.2	Tiempo de carga real.....	109
4.6	Costo del consumo de combustible.....	109
4.7	Modo de operación del sistema híbrido.....	110
4.8	Costo de producción del sistema.....	110
4.9	Conclusiones .....	111

<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>112</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>113</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>116</b>

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1.1. Reducción media de emisiones.....	15
Tabla 2.1. Datos de baterías híbridas.....	26
Tabla 3.1. Puertos del variador de velocidad.....	55
Tabla 3.2. Registro ADCON0.....	72
Tabla 3.3. Registro ADCON1.....	74
Tabla 3.4. Configuración de los puertos como E/S.....	75
Tabla 3.5. Características eléctricas del transistor 2N3904.....	88
Tabla 4.1. Consumo de corriente del motor eléctrico.....	103
Tabla 4.2. Costos de materiales y equipos.....	110

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Componentes de un vehículo híbrido.....	4
Figura 1.2. Arranque o puesta en marcha.....	6
Figura 1.3. Conducción normal.....	6
Figura 1.4. Aceleración fuerte.....	7
Figura 1.5. Desaceleración, frenado.....	7
Figura 1.6. Parada.....	8
Figura 1.7. Sistema híbrido en serie.....	9
Figura 1.8. Esquema del sistema híbrido en serie.....	9
Figura 1.9. Sistema híbrido en paralelo.....	10
Figura 1.10. Esquema del sistema híbrido en paralelo.....	10
Figura 1.11. Sistema híbrido mixto.....	11
Figura 1.12. Esquema del sistema híbrido mixto.....	12
Figura 2.1. Motor de combustión de un Toyota Prius.....	18
Figura 2.2. Ciclo Atkinson.....	19
Figura 2.3. Sistema VVT – i.....	20
Figura 2.4. Moto generador (MG1).....	20
Figura 2.5. Moto generador (MG2).....	21
Figura 2.6. Sistema híbrido.....	22
Figura 2.7. Inversor.....	23
Figura 2.8. Estructura interna del inversor.....	24
Figura 2.9. Sistema de refrigeración del inversor.....	25
Figura 2.10. Conectores de alta tensión del inversor.....	25
Figura 2.11. Ubicación de la batería del alto voltaje HV.....	27
Figura 2.12. Batería de alto voltaje HV.....	27
Figura 2.13. Transmisión híbrida.....	29
Figura 2.14. Esquema del engranaje planetario de la transmisión.....	30
Figura 2.15. Cadena cinemática de la transmisión híbrida.....	31
Figura 2.16. Transmisión del movimiento corona – conjunto diferencial.....	31
Figura 2.17. Sistema de control THS II.....	33
Figura 2.18. Estrategia de control (Detenido).....	35
Figura 2.19. Estrategia de control (Arrancando).....	36
Figura 2.20. Estrategia de control (Conducción normal).....	37
Figura 2.21. Estrategia de control (Máxima aceleración y altas velocidades).....	38
Figura 2.22. Estrategia de control (desaceleración y frenado).....	38
Figura 2.23. Estrategia de control (reversa).....	39

Figura 3.1. Esquema de las funciones del sistema híbrido.....	42
Figura 3.2. Etapa de energía eléctrica.....	43
Figura 3.3. Construcción de la batería.....	44
Figura 3.4. Batería de plomo – ácido BoschS3.....	45
Figura 3.5. Inversor.....	46
Figura 3.6. Esquema entrada – salida del inversor.....	47
Figura 3.7. Estructura del inversor.....	47
Figura 3.8. Etapas del inversor.....	48
Figura 3.9. Codificación PWM (Ensamblador).....	49
Figura 3.10. Regulador AC.....	50
Figura 3.11.Regulador de tensión con tiristores.....	50
Figura 3.12.Simulación de voltajes.....	51
Figura 3.13.Controlador del motor eléctrico.....	52
Figura 3.14.Panel de control del variador de velocidad.....	53
Figura 3.15.Variante analógica (entrada analógica).....	54
Figura 3.16.Potenciómetro del pedal del acelerador.....	54
Figura 3.17.Variante analógica (entrada analógica).....	55
Figura 3.18.Palaca de cambios.....	56
Figura 3.19.Diagrama de bloques del variador de velocidad.....	57
Figura 3.20. Motor eléctrico.....	58
Figura 3.21.Partes del motor de inducción trifásico.....	58
Figura 3.22.Sección del motor de inducción trifásico.....	59
Figura 3.23. Etapa de energía térmica.....	61
Figura 3.24. Motor de combustión interna del sistema híbrido.....	62
Figura 3.25. Clasificación del motor de combustión interna.....	62
Figura 3.26. Esquema del motor de combustión interna.....	63
Figura 3.27.Ciclo de trabajo del motor de dos tiempos.....	64
Figura 3.28. Unidad de control electrónica del sistema híbrido.....	65
Figura 3.29. PCB de la unidad de control electrónica.....	66
Figura 3.30. Circuito electrónico del partidor de tensión.....	68
Figura 3.31. Hardware del partidor de tensión del sistema.....	69
Figura 3.32. Conversión analógico – digital.....	71
Figura 3.33. Muestreo de la señal digital.....	71
Figura 3.34. Diagrama del microcontrolador 16F871.....	72
Figura 3.35. Subrutina de la conversión A/D.....	74
Figura 3.36. Configuración del registro ADCON1.....	75
Figura 3.37. Registros ADRESH y ADRESL.....	76

Figura 3.38. Resultado de la conversión A/D.....	76
Figura 3.39. Zona de declaración de variables.....	77
Figura 3.40. Configuraciones iniciales.....	78
Figura 3.41. Programa principal.....	78
Figura 3.42. Conversión A/D.....	79
Figura 3.43. Actualización del ciclo útil.....	79
Figura 3.44. Visualización de la conversión A/D.....	80
Figura 3.45. Inicialización del LCD.....	81
Figura 3.46. Comparación de límites y activación de puertos.....	82
Figura 3.47. Subrutina de demoras.....	83
Figura 3.48. Programador PICKIT 3.....	83
Figura 3.49. Configuración del programador PICKIT 3 con la PC.....	84
Figura 3.50. Circuitería y pines de salida del PICKIT 3.....	85
Figura 3.51. Etapa de potencia.....	86
Figura 3.52. Regulación de voltaje.....	87
Figura 3.53. Circuito de potencia.....	87
Figura 3.54. Efecto inductivo de los relays.....	88
Figura 3.55. Eliminación del efecto inductivo de los relays.....	89
Figura 3.56. Acople del sistema de carga de la batería.....	90
Figura 3.57. El alternador.....	90
Figura 3.58. Constitución del alternador.....	91
Figura 3.59. Regulador del alternador.....	92
Figura 3.60. Adquisición de datos.....	94
Figura 3.61. Estructura interna del DAQ.....	96
Figura 3.62. Pinout de la tarjeta DAQ.....	97
Figura 3.63. Panel frontal del sistema en Labview.....	98
Figura 3.64. Diagrama de bloques del sistema en Labview.....	99
Figura 4.1. Curva de consumo de corriente del motor eléctrico.....	104
Figura 4.2. Aproximación de la curva de consumo de corriente.....	105

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. <u>Líneas de programación del software de control del sistema híbrido.....</u>	116
---	-----

Romo Vélez Luis Alberto  
Hidalgo Cordero Pedro José  
Trabajo de graduación  
Ing. Germán Alfonso Zúñiga Cabrera  
Enero del 2013

## **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN TÉRMICO – ELECTRÓNICO DE UN VEHÍCULO HÍBRIDO**

### **INTRODUCCIÓN**

La idea de diseñar y construir un sistema de propulsión híbrido surge debido a que en el medio aún no se ha realizado un estudio minucioso sobre el principio de funcionamiento de este tipo de tecnología; teniendo en cuenta que los vehículos híbridos es un mercado importante del sector automotriz.

Un sistema de propulsión térmico - electrónico, configuración serie, utiliza dos fuentes de energía para su movimiento; una basada en un motor eléctrico y otra basada en un motor térmico. Con este sistema se consigue disminuir el consumo de combustible ya que el motor térmico trabaja únicamente para cargar las baterías de las cuales se alimenta el motor eléctrico, además se evita la transmisión mecánica entre el motor térmico y las ruedas, eliminando así una de las causas que reducen la eficiencia.

## CAPÍTULO I

### SISTEMAS DE PROPULSIÓN HÍBRIDA

#### 1.1 Introducción

En este capítulo se realizará un estudio teórico de las características y principio de funcionamiento de los sistemas híbridos. El objeto es mostrar una idea general de los desarrollos investigativos que se han llevado a cabo en el mercado de vehículos híbridos. Se definirá los diferentes tipos de sistemas híbridos junto con sus componentes y finalmente se pondrá en manifiesto las ventajas y desventajas que presenta esta tecnología.

De esta manera se podrá obtener conocimientos imprescindibles acerca del sistema de propulsión híbrida en configuración serie y así verificar los elementos y componentes necesarios para la construcción del sistema.

#### 1.2 Características del sistema híbrido

Por definición, un sistema híbrido incorpora dos tipos de energías para su propulsión: un motor eléctrico (alimentado por baterías de alta tensión) y motor de combustión interna (energía térmica). Al tener dos fuentes de energía diferentes se logra compensar las deficiencias de cada una y así obtener eficientes rendimientos y ser considerablemente limpio y silencioso. Los sistemas híbridos, que se encuentran actualmente entre las tecnologías novedosas, surgieron a partir de la necesidad de reducir las emisiones contaminantes generadas por los sistemas convencionales y el costo de los combustibles fósiles.

Esta tecnología permite mejorar las condiciones de propulsión con un menor consumo de combustible y elementos contaminantes. Los sistemas híbridos funcionan con gasolina; sin embargo, consumen menos que un Diesel y por lo tanto emite menos contaminantes como el CO<sub>2</sub>.

“Esta preocupación por el medioambiente se ha visto acompañada recientemente por una nueva crisis del petróleo. El precio del mismo ha ido elevándose en los

últimos años progresivamente, detectándose, además, un previsible agotamiento de los principales yacimientos en un plazo más o menos corto, calculado en 30 años al ritmo de consumo actual. La extracción de petróleo de yacimientos menos accesibles y dispersos hará que el precio del mismo siga elevándose.

En este contexto, el desarrollo de vehículos híbridos ha tenido un caldo de cultivo favorable. Por una parte la necesidad, autoimpuesta en muchos casos o marcada por la normativa en otros, de construir vehículos cada vez más respetuosos con el medioambiente ha impulsado el desarrollo de soluciones innovadoras y eficaces para reducir el uso de fuentes de energía no renovables y, a menudo, contaminantes. Una de estas soluciones han sido los vehículos híbridos, y el mercado, igualmente influenciado por esta coyuntura, ha dado la bienvenida a este esfuerzo renovador de las marcas y ha apoyado este tipo de vehículos con sus decisiones de compra.”<sup>1</sup>

Dentro de las tecnologías híbridas existe la posibilidad de que el motor de combustión interna (energía térmica) utilice combustibles menos contaminantes que la gasolina como es el caso del metanol. Aunque los sistemas híbridos basan su funcionamiento en un motor eléctrico; su característica de funcionamiento es que este motor eléctrico no requiere de carga externa, como si sucede en los vehículos netamente eléctricos.

Además existen casos en los que es posible recuperar la energía cinética, al momento de frenar, la misma que se disipa en forma de calor en los frenos, convirtiéndola en energía eléctrica; esto tiene el nombre de freno regenerativo.

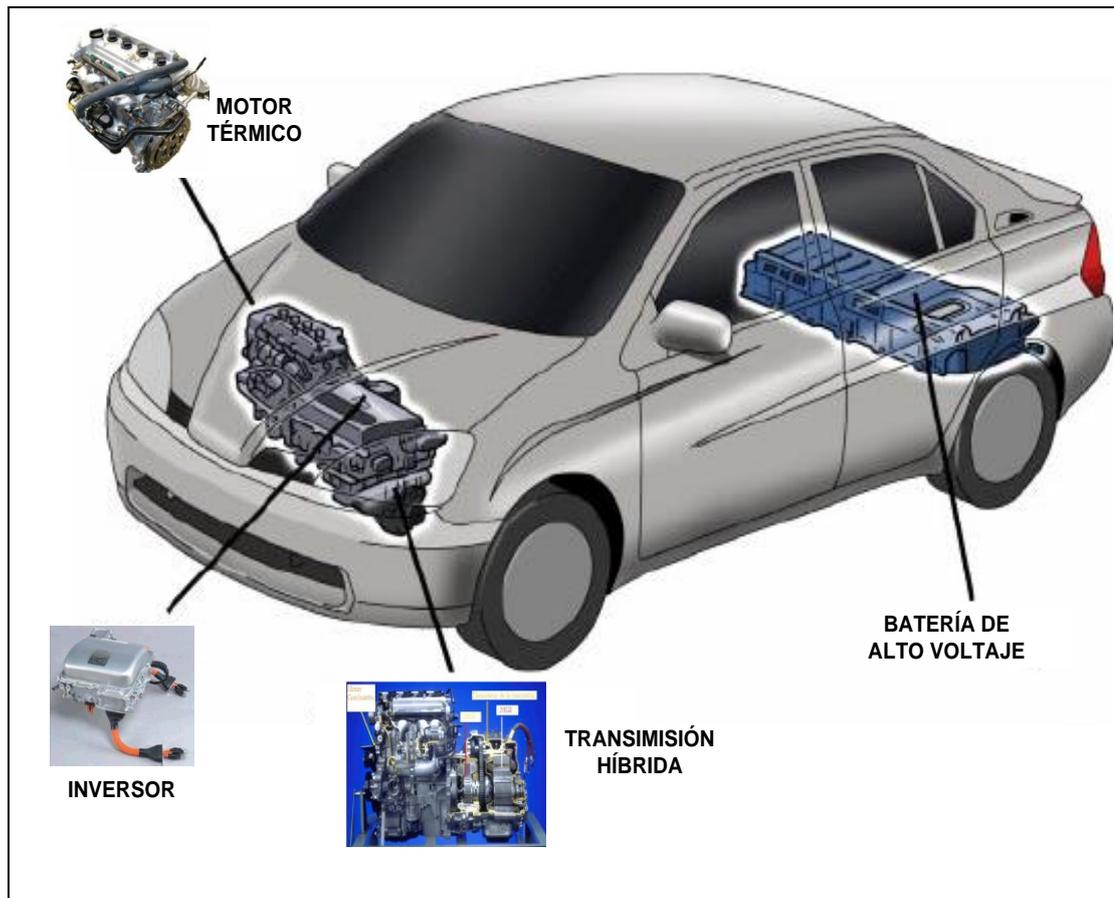
Dentro de los elementos más importantes de un sistema híbrido (figura 1.1) está el motor de combustión interna, el inversor, la batería de alto voltaje (HV) y la transmisión híbrida, la misma que posee en su interior el motor eléctrico y los motores generadores.

Las características más importantes en el funcionamiento de los sistemas híbridos son las siguientes:

---

<sup>1</sup> FUNDACIÓN INSTITUTO TECNOLÓGICO PARA LA SEGURIDAD DEL AUTOMOVIL. *Tecnologías de propulsión híbridas*. [www.fundacionfitsa.org/de propulsión híbridas](http://www.fundacionfitsa.org/de_propulsión_híbridas)

Figura 1.1. Componentes de un vehículo híbrido  
(Fuente: TOYOTA Hybrid System. [www.toyota.com/prius-hybrid](http://www.toyota.com/prius-hybrid))



- **Ahorro de energía**

El sistema detiene automáticamente la marcha del motor térmico, cuando este se encuentra en vacío (ralentí), reduciendo así la energía que normalmente se perdía.

- **Recuperación de energía y reutilización**

La energía que normalmente se pierde en forma de calor durante la desaceleración y la frenada se recupera como energía eléctrica, la cual luego se utiliza para energizar el arranque y el motor eléctrico.

- **Apoyo al motor térmico**

El motor eléctrico asiste al motor térmico durante la aceleración.

- **Alta eficiencia en la operación de control**

El sistema posee máxima eficiencia, ya que el motor eléctrico es el encargado de hacer funcionar el sistema en condiciones en la que la eficiencia del motor térmico es baja, y la generación de energía eléctrica tiene lugar en condiciones en la que la eficiencia del motor térmico es alta. Por lo tanto, esto proporciona una alta eficiencia y rendimiento.

### **1.3 Sistema de operación del sistema híbrido**

El funcionamiento de los sistemas híbrido se basa en la combinación de dos tipos diferentes de motores, uno de combustión interna y un eléctrico; esto se logra por medio de un sistema de control híbrido y bancos de baterías.

#### **1.3.1 Arranque o puesta en marcha**

Los sistemas híbridos hacen que en el arranque funcione únicamente el motor eléctrico (figura 1.2), el mismo que es alimentado por el banco de baterías (solo si la aceleración es suave). (A).

#### **1.3.2 Conducción normal**

Cuando alcanza una velocidad constante (figura 1.3), la fuerza que proporciona el motor térmico se divide por el generador, que a su vez acciona el motor eléctrico. (B) y el resto de energía mueve directamente las ruedas. (C).

#### **1.3.3 Aceleración fuerte**

Para acelerar fuerte o para subir una pendiente (figura 1.4), se suministra potencia extra desde la batería (A), mientras que el motor eléctrico ayuda al motor de combustión interna (B + C). Esto sólo es posible mientras el nivel de carga de la batería no baje de un cierto límite.

#### **1.3.4 Desaceleración, frenado**

Cuando se deja de pisar el acelerador, el motor térmico se para y el motor eléctrico se convierte en generador (figura 1.5). De esta manera el consumo de combustible

es nulo, y por medio del motor eléctrico en función generador, se transforma en electricidad parte de la energía cinética proveniente de las ruedas (freno regenerativo). (D).

Figura 1.2. Arranque o puesta en marcha.  
(Fuente: TOYOTA Hybrid System. [www.toyota.com/prius-hybrid](http://www.toyota.com/prius-hybrid))

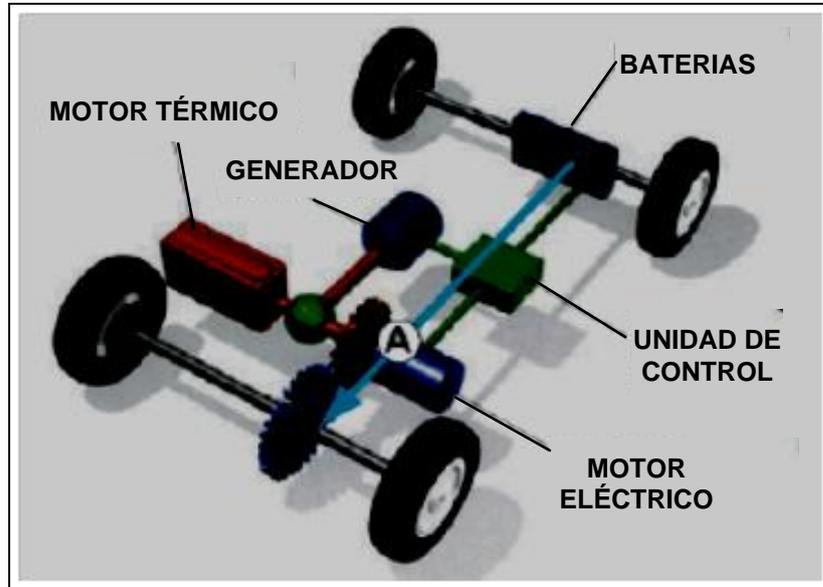
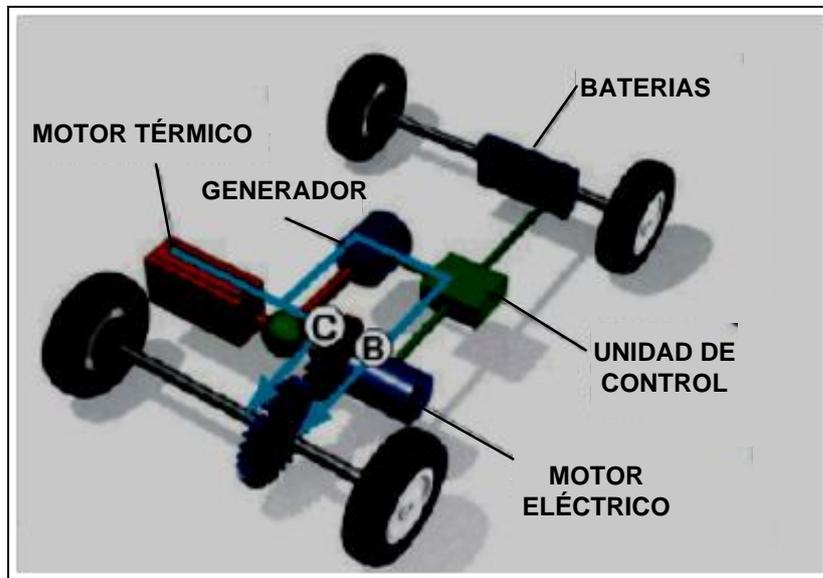


Figura 1.3. Conducción normal.  
(Fuente: TOYOTA Hybrid System. [www.toyota.com/prius-hybrid](http://www.toyota.com/prius-hybrid))



### 1.3.5 Parada

Cuando el sistema queda completamente detenido, el motor térmico se detiene (figura 1.6). Solo se enciende, con el sistema parado, si es preciso cargar a la batería porque ha bajado de su nivel límite de carga. (E).

Figura 1.4. Aceleración fuerte.  
(Fuente: TOYOTA Hybrid System. [www.toyota.com/prius-hybrid](http://www.toyota.com/prius-hybrid))

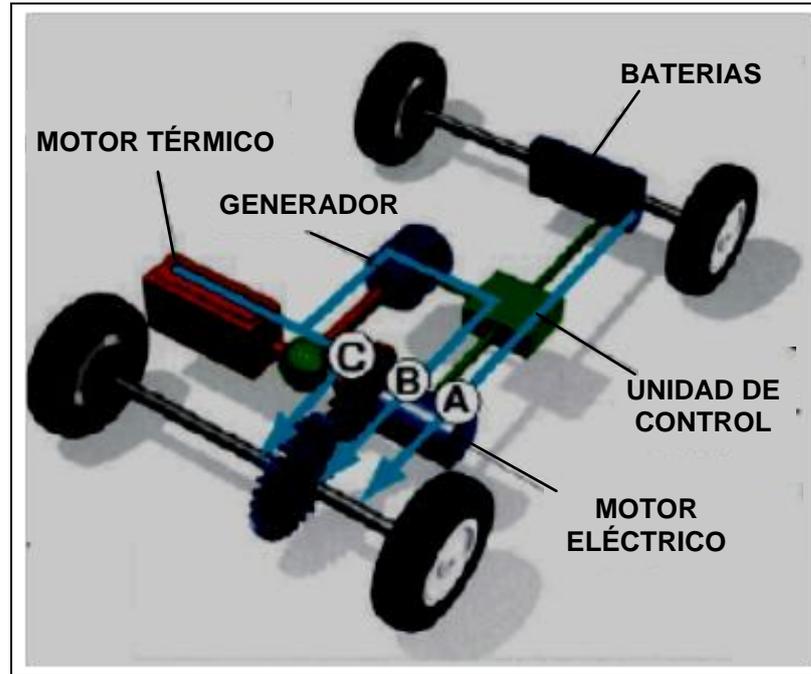


Figura 1.5. Desaceleración, frenado  
(Fuente: TOYOTA Hybrid System. [www.toyota.com/prius-hybrid](http://www.toyota.com/prius-hybrid))

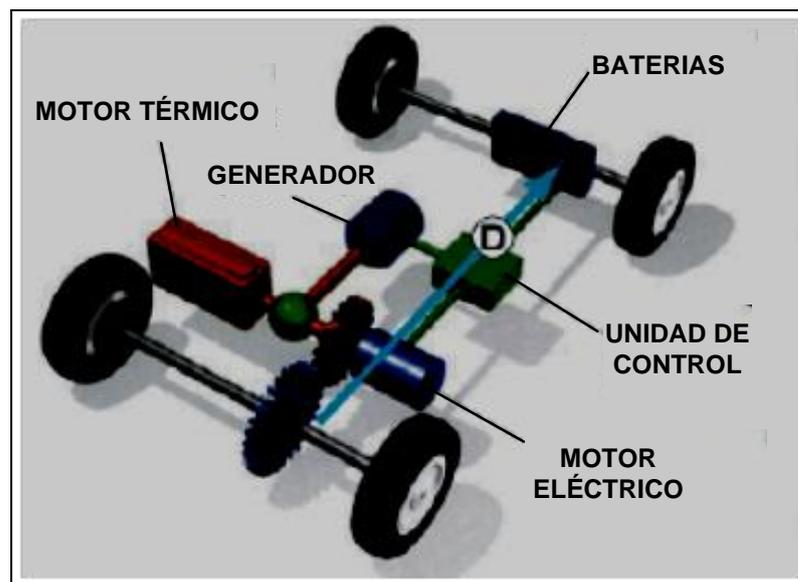
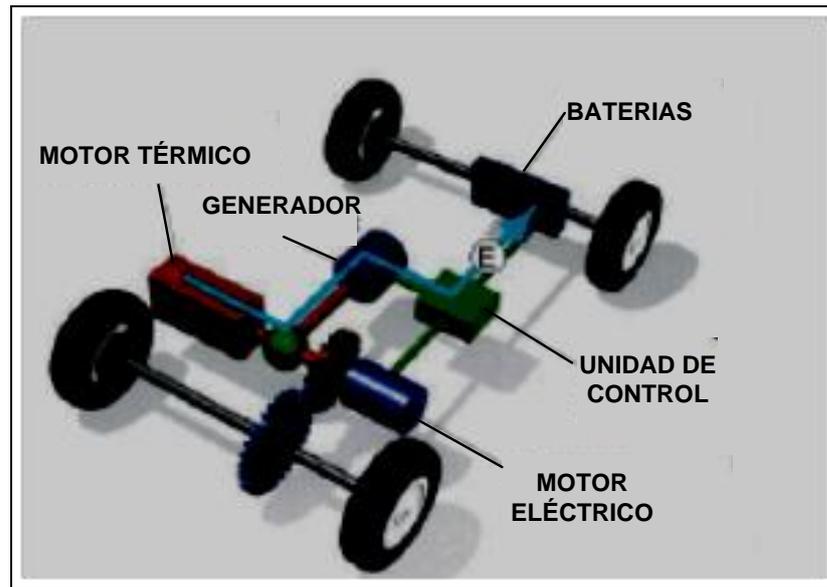


Figura 1.6. Parada  
 (Fuente: TOYOTA Hybrid System. [www.toyota.com/prius-hybrid](http://www.toyota.com/prius-hybrid))



## 1.4 Tipos de sistemas híbridos

Dependiendo de la manera que se conecten los dos motores, tanto eléctrico como térmico, los híbridos pueden clasificarse de tres maneras: híbridos en serie, híbridos en paralelo e híbridos mixtos.

### 1.4.1 Sistema híbrido en serie

En los sistemas híbridos en configuración serie (figura 1.7), el vehículo es impulsado únicamente por el motor eléctrico, el mismo que es alimentado por la batería de alto voltaje HV. La batería es cargada por un generador eléctrico, el cual a su vez es arrastrado por motor de combustión interna.

La batería actúa como un acumulador de la energía eléctrica sobrante, y cuando está cargada en su totalidad, permite que temporalmente el motor de combustión interna se apague, de tal manera que el vehículo puede propulsarse únicamente por el motor eléctrico.

La configuración serie (figura 1.8) se caracteriza por:

- a. El motor de combustión interna puede alimentar el motor eléctrico, a través del generador, y además cargar la batería.

- b. La batería puede suministrar energía al motor eléctrico pero también, por medio del freno regenerativo, el motor eléctrico puede a su vez cargar la batería.

Figura 1.7. Sistema híbrido en serie  
(Fuente: Tecnologías de propulsión híbridas. [www.fundacionfitsa.org/](http://www.fundacionfitsa.org/))

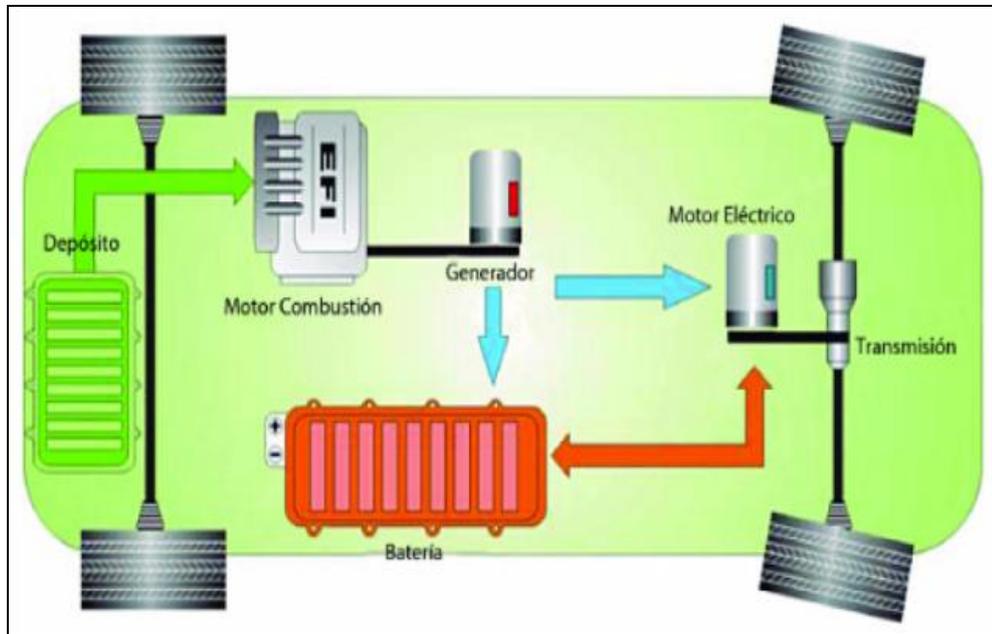
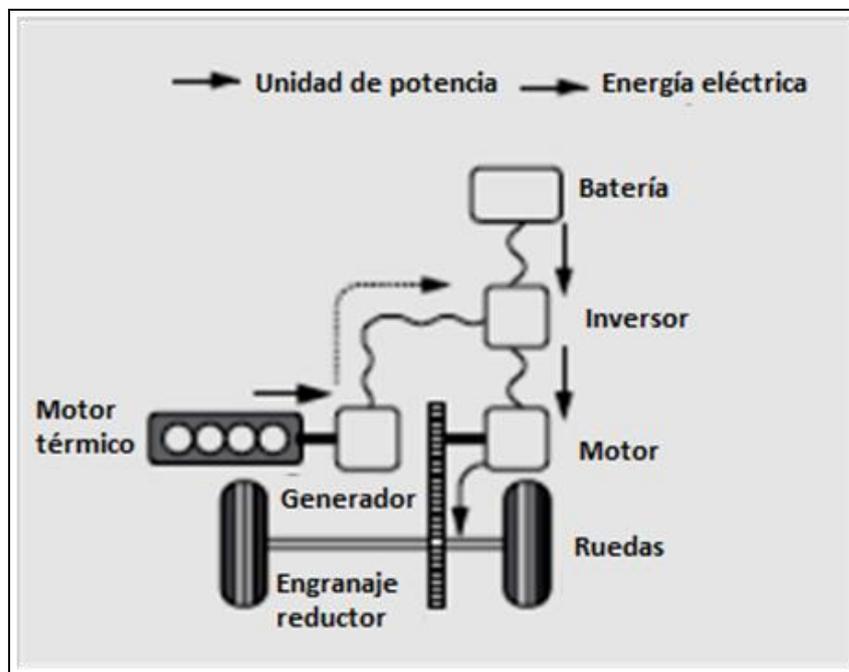


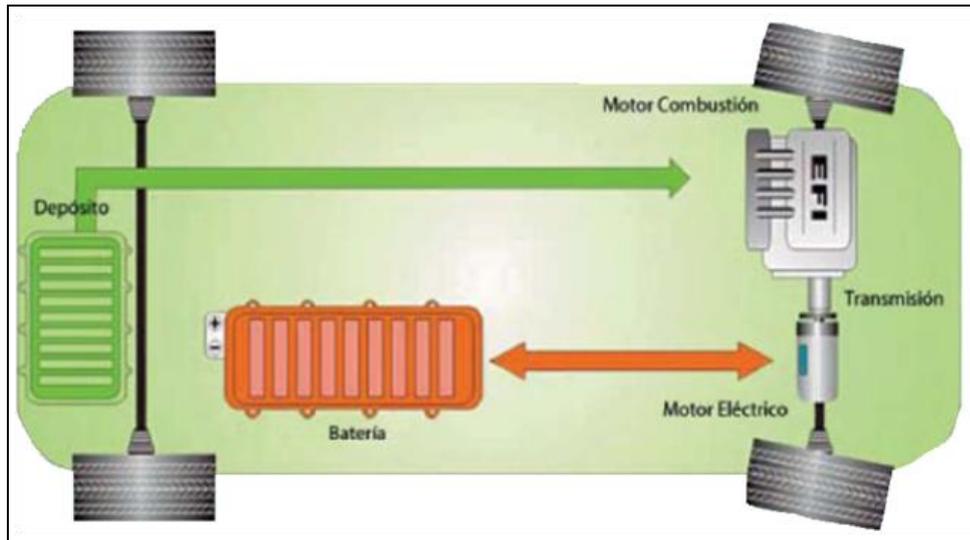
Figura 1.8. Esquema del sistema híbrido en serie  
(Fuente: TOYOTA Hybrid System. [www.toyota.com/prius-hybrid](http://www.toyota.com/prius-hybrid))



### 1.4.2 Sistema híbrido en paralelo

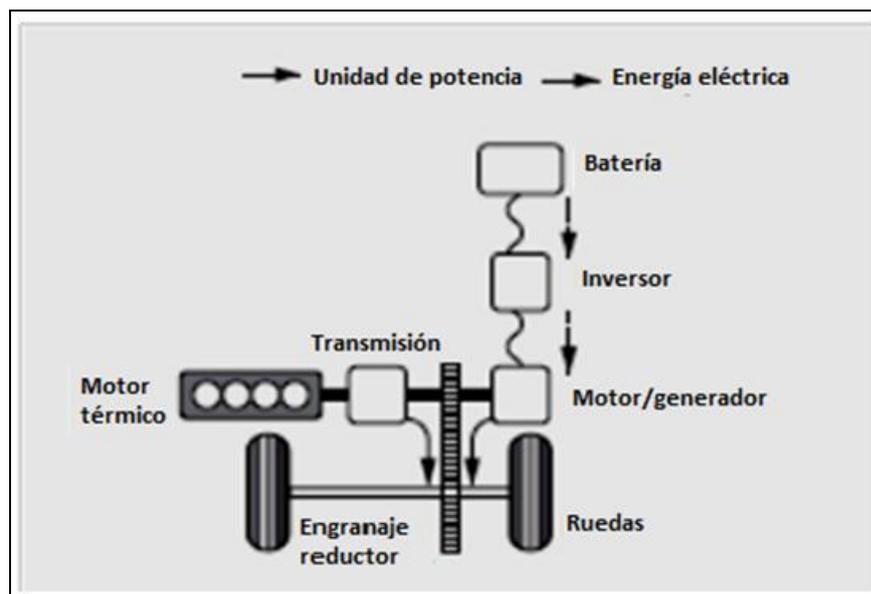
En los sistemas híbridos en configuración paralela (figura 1.9), trabajan simultáneamente tanto el motor eléctrico como el motor de combustión interna para impulsar las ruedas.

Figura 1.9. Sistema híbrido en paralelo  
(Fuente: Tecnologías de propulsión híbridas. [www.fundacionfitsa.org/](http://www.fundacionfitsa.org/))



La configuración paralelo (figura 1.10) se caracteriza por:

Figura 1.10. Esquema del sistema híbrido en paralelo  
(Fuente: TOYOTA Hybrid System. [www.toyota.com/prius-hybrid](http://www.toyota.com/prius-hybrid))



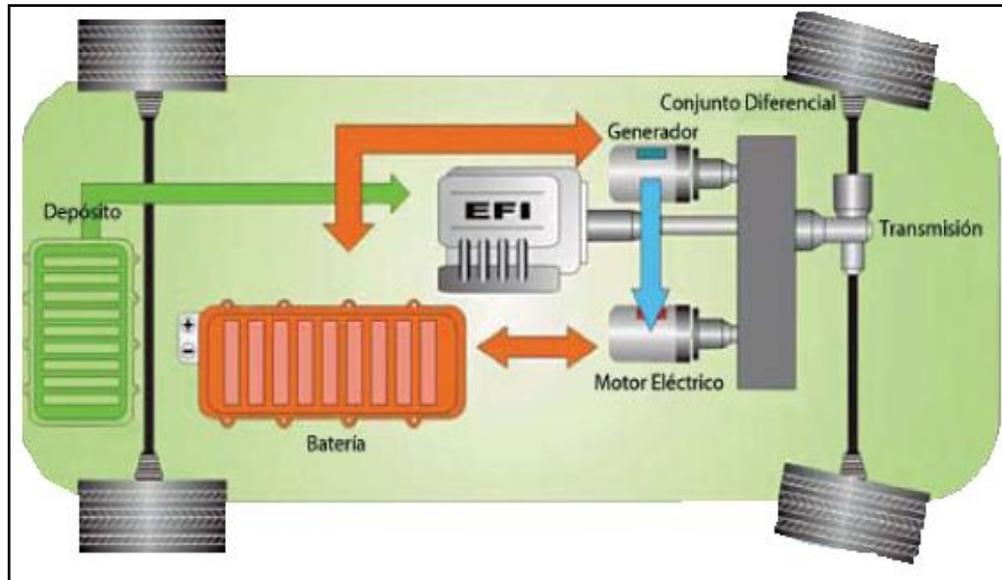
- a. El motor de combustión puede impulsar el vehículo por medio del motor eléctrico y, también cargar la batería funcionando como generador el motor eléctrico.
- b. La batería puede suministrar energía al motor eléctrico pero también, por medio del freno regenerativo, el motor eléctrico puede a su vez cargar la batería.

### 1.4.3 Sistema híbrido mixto

Los sistemas híbridos en configuración mixta (figura 1.11) permiten propulsar el vehículo a través de tres posibilidades:

1. Sólo por medio del motor de combustión interna.
2. Sólo a través del motor eléctrico.
3. Mediante la combinación de ambos motores.

Figura 1.11. Sistema híbrido mixto  
(Fuente: Tecnologías de propulsión híbridas. [www.fundacionfitsa.org/](http://www.fundacionfitsa.org/))

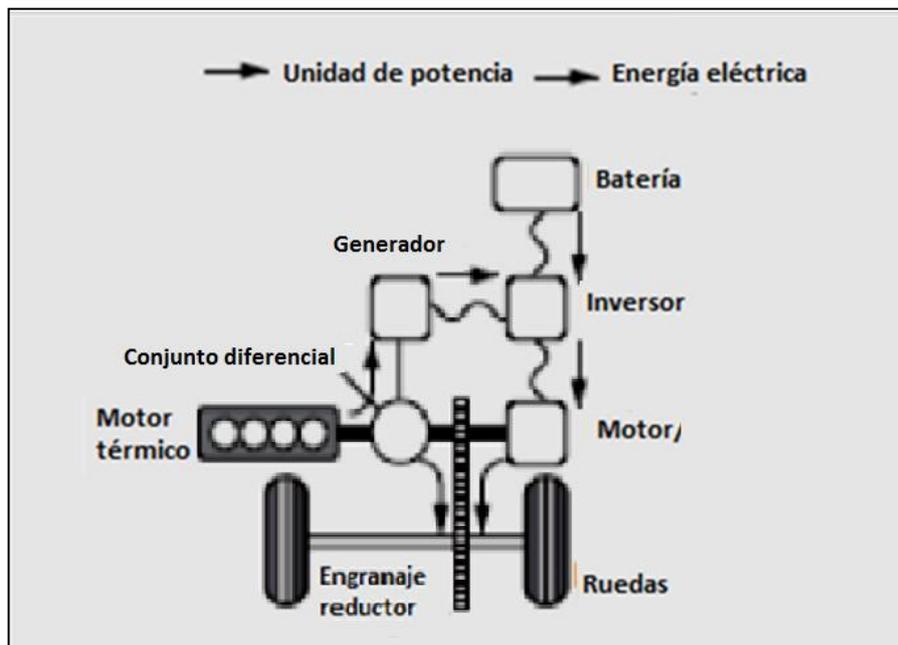


El concepto de un sistema mixto es semejante a la de un sistema en configuración en serie, con la diferencia que le motor de combustión interna se ha conectado directamente a las ruedas. A través de un sistema de engranajes diferencial se interconectan el motor de combustión interna, el generador y el motor eléctrico; los mismos que a su vez están conectados a la transmisión del vehículo.

La configuración mixta (figura 1.12) se caracteriza por:

- a. El motor de combustión impulsa el vehículo por medio del conjunto diferencial.
- b. El generador de energía eléctrica, que también se encuentra conectado al sistema diferencial, es accionado por el motor de combustión interna. Esta electricidad producida puede servir para cargar la batería o para alimentar el motor eléctrico, dependiendo de las condiciones de funcionamiento.
- c. El motor eléctrico es alimentado por la batería y además es capaz de cargar la batería en momentos en los cuales el sistema este bajo la condición de freno regenerativo.
- d. El motor eléctrico impulsa las ruedas por medio del conjunto diferencial.

Figura 1.12. Esquema del sistema híbrido mixto  
(Fuente: TOYOTA Hybrid System. [www.toyota.com/prius-hybrid](http://www.toyota.com/prius-hybrid))



### 1.5 Ventajas de los sistemas híbridos

Las bondades de los sistemas híbridos con respecto a los demás sistemas convencionales, son las siguientes:

- La energía que normalmente se pierde en forma de calor, a través de las frenadas habituales, se puede recuperar y utilizar para cargar las baterías, por medio del sistema de freno regenerativo.
- Se reduce el peso del vehículo al máximo ya que el motor de combustión interna es más pequeño, debido a que el motor eléctrico soporta las aceleraciones, logrando así reducir las pérdidas de energía por rozamiento.
- “Gran disminución en el consumo, que puede llegar al 50% del consumo normal de un vehículo.”<sup>2</sup>
- Utilización de combustibles alternativos, como el metanol, logrando así disminuir el consumo de combustibles fósiles.

### **Configuración serie**

- El motor de combustión interna nunca trabaja en la condición de vacío, lo que se conoce como ralentí, con lo cual se reduce las emisiones contaminantes y el consumo de combustible.
- Logra altos rendimientos ya que el conjunto motor de combustión y generador eléctrico trabajan en el punto para el que han sido diseñados.
- No necesita transmisión mecánica entre el motor térmico y las ruedas; eliminando así una de las causas de reducen la eficiencia del sistema.

### **Configuración en paralelo**

- Los sistemas híbridos con este tipo de configuración son más potentes debido a que ambos motores pueden trabajar conjuntamente.
- La mayor parte de vehículos con esta configuración no necesitan generador, por lo que se reduce costos, peso y espacio.

---

<sup>2</sup> CHICÓN. JUAN. – VIDAL. NARCÍS. *LOS COCHES HÍBRIDOS. Electrónica del Automóvil.*  
[www.mcatronic.com/Documentacion/Automoviles/VehiculosHibridos2.pdf](http://www.mcatronic.com/Documentacion/Automoviles/VehiculosHibridos2.pdf)

## Configuración Mixta

- En los sistemas híbridos con configuración mixta es posible, gracias al conjunto diferencial, que el motor de combustión interna esté conectado directamente a las ruedas en algunas condiciones de funcionamiento (máximo rendimiento y mínimo consumo).
- Al trabajar el motor de combustión interna en estas condiciones y al tener el apoyo del motor eléctrico, implica tener complicadas y costosas cajas de cambios. La unidad de control electrónica es la encargada de comandar al conjunto para que siempre funcione de manera óptima.

Los sistemas convencionales representan una de las principales fuentes de contaminación ambiental y de emisión de gases responsables del efecto invernadero.

“Los gases de efecto invernadero más importantes son el CO<sub>2</sub> y el metanol. Por otra parte, las principales emisiones contaminantes causadas por los vehículos son los óxidos de nitrógeno (NOx), los hidrocarburos (HC) y el monóxido de carbono (CO). Las emisiones de estos gases procedentes de los vehículos representan respectivamente el 58%, el 50% y el 75% del total de emisiones atmosféricas. Además, los vehículos contribuyen a la emisión de otros contaminantes tóxicos como el plomo, el benceno, el butadieno y otros cancerígenos asociados a las pequeñas partículas sólidas emitidas por el tubo de escape. La gasolina genera también otros contaminantes a través de la evaporación del combustible en ciertas partes del sistema motriz del vehículo; esta evaporación representa alrededor de 30% de la emisión global de hidrocarburos procedentes de fuentes móviles.

Las partículas en suspensión no proceden únicamente del proceso de combustión ya que algunas de ellas se desprenden del pavimento debido al propio paso de los vehículos. Se estima que entre el 40 y el 60% de las partículas en suspensión en las zonas urbanas provienen del tráfico rodado; el resto proviene de otras actividades diversas (industria, agricultura, obras...).”<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> FUNDACIÓN INSTITUTO TECNOLÓGICO PARA LA SEGURIDAD DEL AUTOMOVIL. *Tecnologías de propulsión híbridas*. [www.fundacionfitsa.org/](http://www.fundacionfitsa.org/)

Hasta el día de hoy, los automóviles que cuentan con tecnologías híbridas no pueden considerarse como sistemas de emisión cero, ya que todavía son generadores de contaminación acústica. En la tabla 1.1 se puede observar la reducción de emisiones de los sistemas híbridos con respecto a los sistemas convencionales.

Tabla 1.1. Reducción media de emisiones  
(Fuente: Tecnologías de propulsión híbridas. [www.fundacionfitsa.org/](http://www.fundacionfitsa.org/))

Emisiones	Híbrido	Gasolina		Diesel	
		Euro IV	% reducción	Euro IV	% reducción
NOx	0.01	0.08	87.5	0.25	96
CO	0.18	1.0	82	0.5	64
HC	0.02	0.1	80	0.05	60
PM	--	--	--	25	100
CO <sub>2</sub>	104	165	37	146	29

## 1.6 Conclusiones

- Los sistemas híbridos siempre utilizan dos fuentes diferentes de energía para su propulsión, el motor de combustión interna (energía térmica) y el motor eléctrico (energía eléctrica). Se caracteriza por ser un sistema menos contaminante comparado con un sistema convencional, pues disminuye la emisión de gases contaminantes y el ruido.
- El consumo de un sistema híbrido es menor que el de un sistema convencional, pues el motor de combustión interna entra en funcionamiento solo en determinadas condiciones de marcha.
- Se puede combinar de tres diferentes maneras los motores de un sistema híbrido, a través de la configuración serie, paralelo o mixta. En la configuración serie, el motor de combustión interna es de menor potencia ya que solo se lo utiliza para hacer girar el generador y a su vez cargar las baterías; mientras que el motor eléctrico es el que hace girar directamente las ruedas.

- Con las tecnologías híbridas se puede lograr menores consumos a través de los diferentes sistemas que posee, entre los que destaca el freno regenerativo. Incluso los sistemas convencionales de menor tamaño consumen mayor cantidad de combustible que los híbridos.
- Los híbridos no puede considerarse un sistema de emisión cero y todavía son fuente de contaminación acústica; sin embargo, estas contaminaciones son menores que los sistemas convencionales. Cabe señalar que los sistemas híbridos poseen una tendencia a deteriorarse con el tiempo, lo cual provocará que las emisiones contaminantes aumenten.
- Cuando los sistemas híbridos están detenidos o trabajan en las condiciones de baja o mediana velocidad, el motor de combustión interna no funciona, únicamente lo hace el motor eléctrico; con esto se reducen considerablemente las emisiones contaminantes.
- En general, en los sistemas híbridos aumenta la complejidad de los conjuntos mecánicos y de la electrónica aplicada. Esto provoca que los costos de los sistemas mecánicos - electrónicos de un híbrido sean mayores comparado con los sistemas convencionales.
- Al contrario de los autos eléctricos, los híbridos no necesitan una carga externa, por lo que no tienen los problemas de autonomía de los vehículos eléctricos. El único abastecimiento que necesita es combustible.

## CAPÍTULO II

### ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES DE UN SISTEMA HÍBRIDO

#### 2.1 Introducción

Este capítulo tiene como objetivo el análisis técnico y de funcionalidad de los componentes principales presentes en un sistema híbrido – configuración serie, los mismos que son: motor de combustión, moto – generador, inversor, banco de baterías híbridas, transmisión híbrida en serie y unidad de control electrónica.

Este análisis de información y la adquisición de datos técnicos servirán como base para la selección componentes, el diseño y la construcción del sistema híbrido en serie. Actualmente, el vehículo híbrido de turismo más demandado en el mercado es el Toyota Prius; bajo esta consideración, el capítulo describe las características, datos técnicos y principios de funcionamiento de los componentes principales presentes en este vehículo.

#### 2.2 Motor de combustión interna

En general, los sistemas híbridos poseen un motor de combustión interna para su funcionamiento, que permite convertir la energía química generada en la combustión de un combustible (gasolina o diesel) en energía cinética. Esta energía cinética es aprovechada para mover las ruedas o para generar energía eléctrica.

Este motor tiene un funcionamiento alternativo de su émbolo en un ciclo de cuatro tiempos, también es conocido como motor Otto, debido a su inventor. Este tipo de motor es uno de los más utilizados en los vehículos híbridos de turismo. La transformación de energía química se realiza a través de cuatro fases de trabajo, en las cuales el émbolo efectúa cuatro desplazamientos o carreras alternativas. Un sistema mecánico de biela – manivela, situado entre el pistón y el cigüeñal, transforma ese movimiento lineal de émbolo en movimiento de rotación del cigüeñal.

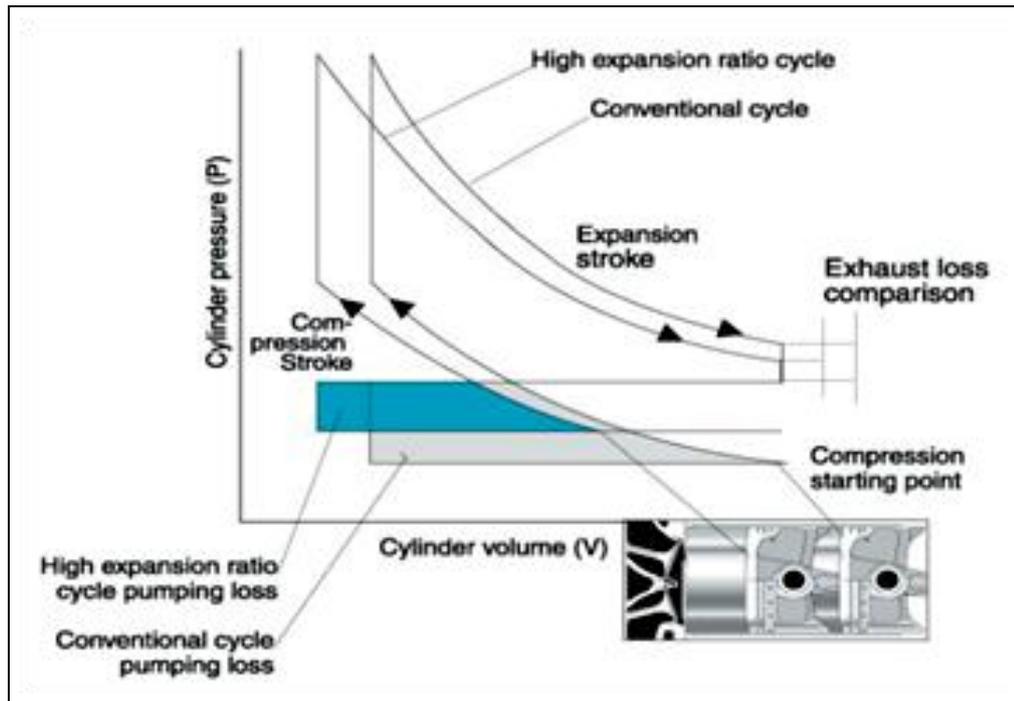
La entrada y salida de gases en la cámara de combustión es controlada por medio de dos válvulas; las mismas que se encuentran en el cabezote del motor. La apertura y el cierre de las válvulas la realiza un sistema de distribución sincronizado con el movimiento del árbol de levas o cigüeñal. El motor de combustión interna que utilizan los vehículos Toyota Prius (figura 2.1) funcionan según el llamado "ciclo Atkinson", este principio fue ideado por el ingeniero inglés James Atkinson (1887), y que se diferencia ligeramente del tradicional motor de "ciclo Otto" de cuatro tiempos.

Figura 2.1. Motor de combustión de un Toyota Prius.  
(Fuente: CISE. *Introducción al estudio de los vehículos híbridos*. [www.cise.com](http://www.cise.com))



El rendimiento térmico de cualquier motor de combustión interna depende directamente de la relación de compresión. Sin embargo, no es posible aumentar indiscriminadamente el valor de la relación de compresión de este tipo de motores debido a que se producen detonaciones no deseadas. Con el ciclo Atkinson (figura 2.2) se aprovecha las bondades que supone una alta relación de compresión para lograr un mayor rendimiento térmico del motor. El ciclo Atkinson reduce la carrera efectiva de compresión comparado con la de un ciclo Otto; para lograr esto, de la manera más viable y sencilla, es necesario retrasar el cierre de la válvula de admisión, así se logra un cierto reflujo de gases hacia el colector de admisión mientras el pistón asciende. Esa mezcla se aprovecha en el siguiente ciclo de aspiración.

Figura 2.2. Ciclo Atkinson.  
 (Fuente: TOYOTA Hybrid System. [www.toyota.com/prius-hybrid](http://www.toyota.com/prius-hybrid))

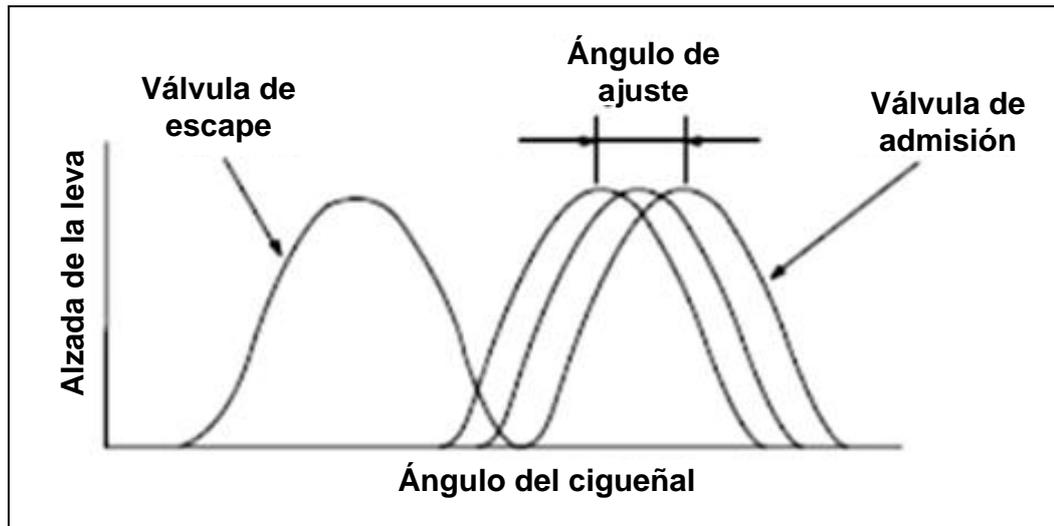


El cierre de la válvula de admisión determina una menor cantidad de gases en el interior del cilindro y el comienzo de la fase de compresión. La menor cantidad de mezcla retenida genera menores prestaciones; sin embargo, se incrementa las relaciones de compresión (13:1) sin que se produzca detonación, lo que permite un mayor aprovechamiento de la energía liberada en la combustión. La distribución del Toyota Prius es variable del tipo VVT – i (Figura 2.3). La válvula con este sistema puede cerrar entre  $78^\circ$  y  $105^\circ$  después del punto muerto inferior. Es decir, en función de las condiciones de funcionamiento, es posible que no cierre las válvulas de admisión hasta después de llevar media carrera ascendente.

### 2.3 Moto – Generador

El motor eléctrico y su mecanismo de control es uno de los elementos fundamentales para el funcionamiento de los sistemas híbridos. El moto – generador debe ser capaz de generar energía eléctrica o de generar potencia mecánica de tal manera que se ajuste rápidamente a las condiciones de funcionamiento del vehículo y además debe hacerlo de manera que su eficiencia sea elevada. El generador por su parte es el elemento que transforma en energía eléctrica el trabajo del motor de combustión interna. Cabe señalar que el generador también funciona como motor de arranque del motor térmico.

Figura 2.3. Sistema VVT – i.  
(Fuente: TOYOTA Hybrid System. [www.toyota.com/prius-hybrid](http://www.toyota.com/prius-hybrid))



En el sistema de moto – generador de los vehículos híbridos Toyota Prius se encuentran dos motores generadores trifásicos que trabajan en alta tensión, aproximadamente 500 VCA, cada uno de estos cumple con una función específica y son denominados como MG1 (figura 2.4) y MG2 (figura 2.5). La corriente alterna es lograda a través del inversor, en el caso del modelo Toyota Prius, el moto – generador 1 (MG1) es la encargada de generar carga que se distribuye entre la batería y el moto generador 2 (MG2).

Figura 2.4. Moto generador (MG1).  
(Fuente: Toyota Hybrid System. *Hybrid System Overview*. [www.autoshop101](http://www.autoshop101))



El moto generador 2 (MG2) se encarga de alternar con el motor de combustión interna el movimiento de las ruedas, ya sea marcha hacia adelante o marcha hacia atrás (reversa), todas estas condiciones de funcionamiento es controlada por la unidad de control electrónica del sistema híbrido (ECU HV).

Figura 2.5. Moto generador (MG2).  
(Fuente: Toyota Hybrid System. *Hybrid System Overview*. [www.autoshop101](http://www.autoshop101))

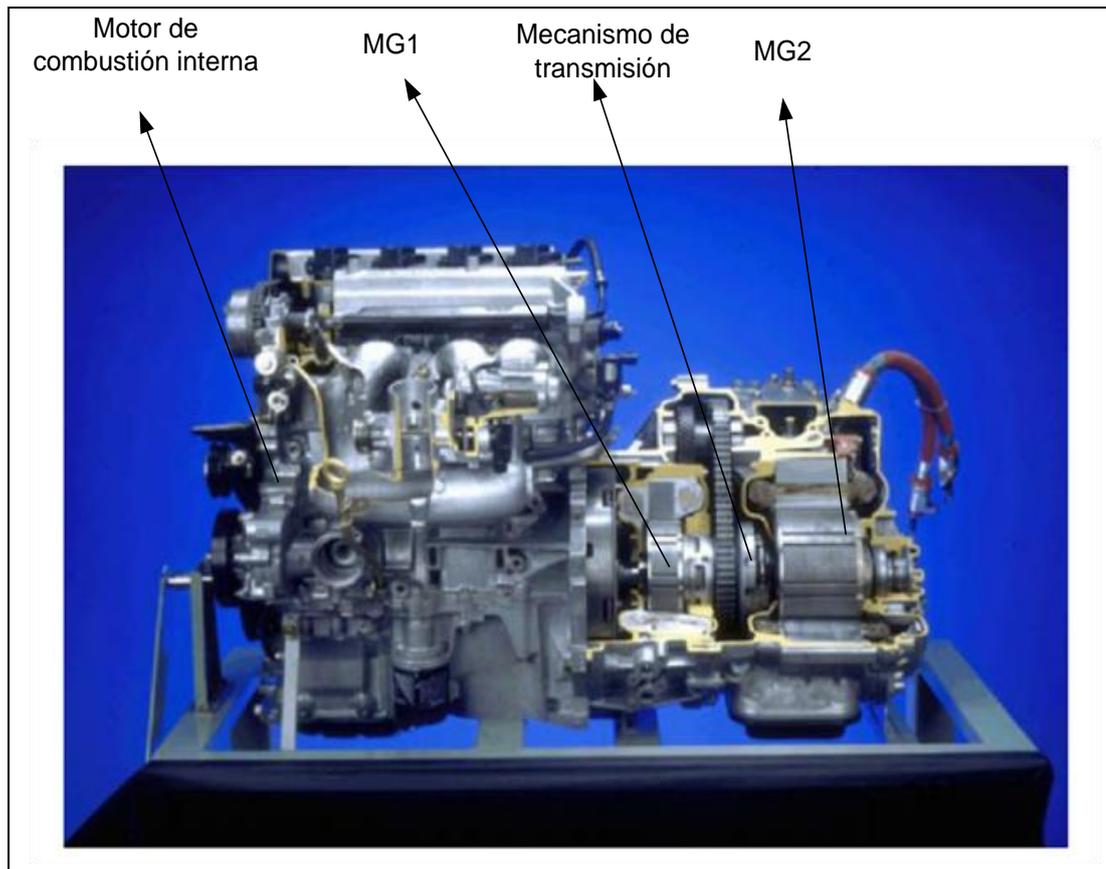


Una de las estrategias importantes que cumple el moto – generador MG2 es la de funcionar como generador de corriente para cargar la batería del sistema híbrido. Esta función, para el caso de MG2, solo se cumple cuando el vehículo se encuentra frenando; a esto se le conoce con el nombre de freno regenerativo. Cuando el vehículo comienza a disminuir su velocidad, el moto generador MG2 toma energía cinética de la disminución de velocidad y la transforma en energía eléctrica que posteriormente, a través del inversor, servirá para cargar la batería de alto voltaje del sistema híbrido. El freno regenerativo crea gran eficiencia al sistema puesto que esta energía, en los vehículos convencionales, era perdida en fricción en las pastillas de freno; en los sistemas híbridos es aprovechada para cargar la batería de alta tensión.

Para el arranque del motor de combustión interna se lo puede realizar a través de diferentes estrategias que incorporan los moto – generadores. Ya que los vehículos híbridos no cuentan con un motor de arranque convencional. En la condición de detenido, el arranque lo acciona el moto – generador 1 (MG1), y en movimiento del

vehículo híbrido se logra a través de la unión de los dos moto – generador MG1 y MG2. Todos estos movimientos del vehículo son posibles debido a la acción de un sistema de transmisión (figura 2.6), el mismo que posee un sistema de engranajes planetarios que relaciona el movimiento del vehículo con el motor de combustión interna y los moto generadores MG1 y MG2.

Figura 2.6.Sistema híbrido.  
(Fuente: Toyota Hybrid System. *Hybrid System Overview*. [www.autoshop101](http://www.autoshop101))



## 2.4 Inversor

El inversor (figura 2.7) es uno de los elementos fundamentales del sistema híbrido, contiene gran cantidad de elemento y componentes electrónicos y eléctricos; pero toda la gestión de funcionamiento es controlada por medio de la unidad de control electrónica del sistema híbrido. La unidad de control se encarga de controlar el inversor y generar diagnósticos del mismo, incluidos códigos de falla.

Dentro del conjunto inversor se encuentran varias etapas o sistemas independientes, por ejemplo:

Figura 2.7. Inversor.  
 (Fuente: TOYOTA Hybrid System. [www.toyota.com/prius-hybrid](http://www.toyota.com/prius-hybrid))

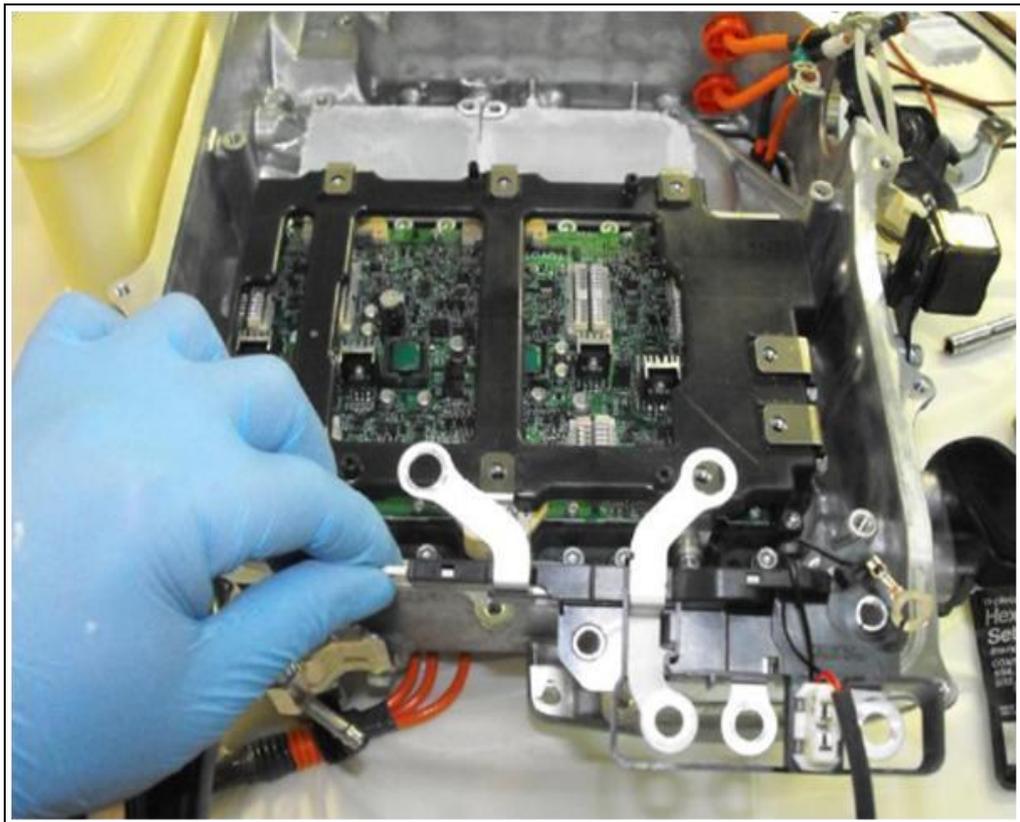


- La etapa que permite controlar los dos moto – generadores (MG1 – MG2). Este circuito o etapa se alimenta por medio de la batería de alto voltaje HV, la cual se encuentra a 220 VDC aproximadamente. Mediante un circuito de potencia genera corriente alterna de tres fases, necesaria para lograr el movimiento de los motores eléctricos.
- Otra etapa es la que permite, mediante la tensión de la batería de alto voltaje HV, generar una corriente alterna trifásica la misma que es utilizada para mover un motor eléctrico de frecuencia variable. Este motor eléctrico acciona el mecanismo del aire acondicionado, ya que el motor de combustión interna se apaga en algunas condiciones de funcionamiento del híbrido.
- El inversor permite que mediante la tensión de la batería de alto voltaje HV, convertir la tensión a 12VDC para mantener la carga a una batería adicional de 12VDC. Esta batería adicional de 12VDC alimenta los accesorios y mecanismos de tensión convencional.

- Dentro del inversor se encuentra la etapa que permite la carga de la batería de alta tensión mediante los moto – generadores MG1 y MG2. Esto se logra a través de componentes electrónicos de potencia, como son los IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), y la unidad de control del sistema híbrido (ECU HV).
- El inversor permite el movimiento moto – generador 1 (MG1) en condición de arranque para el motor de combustión interna. Especialmente cuando el nivel de carga de la batería de alto voltaje HV se encuentre por debajo de lo preestablecido.

En la figura 2.8 se puede apreciar parte de la electrónica presente en el elemento inversor.

Figura 2.8. Estructura interna del inversor.  
(Fuente: CISE. *Introducción al estudio de los vehículos híbridos*. [www.cise.com](http://www.cise.com))



Durante la operación del sistema híbrido el inversor necesita evacuar calor, para esto cuenta con un sistema de refrigeración por agua (figura 2.9). De esta manera se logra que toda la electrónica presente cuente con el nivel de seguridad necesaria para su óptimo desempeño.

Figura 2.9. Sistema de refrigeración del inversor.  
(Fuente: CISE. *Introducción al estudio de los vehículos híbridos*. [www.cise.com](http://www.cise.com))



La conexión de alta tensión (figura 2.10) en el sistema se efectúa por medio de conectores especiales, en donde su diámetro y forma son diferentes a cualquier sistema convencional.

Figura 2.10. Conectores de alta tensión del inversor.  
(Fuente: CISE. *Introducción al estudio de los vehículos híbridos*. [www.cise.com](http://www.cise.com))



## 2.5 Batería de alto voltaje HV

En general, todas las baterías tienen como propósito el almacenamiento de la energía eléctrica; sin embargo, el desarrollo tecnológico presente en las baterías de los sistemas híbridos, es una tecnología madura en comparación con las baterías convencionales. Las baterías híbridas están formadas por nuevas aleaciones (tabla 2.1), las cuales son extremadamente caras y completamente inviables para su comercialización en la actualidad. Además, en la mayoría de casos, tienen un ciclo de vida más corta que los demás elementos del sistema híbrido, lo cual provoca una cara sustitución, posteriormente.

Tabla 2.1. Datos de baterías híbridas.  
(Fuente: Tecnologías de propulsión híbridas. [www.fundacionfitsa.org/](http://www.fundacionfitsa.org/))

Características	Unidad	Pb/Acido	Ni/MH	Li/ion
Energía	Wh/Kg	50	70	120
Potencia	W/Kg	350	180	300
Tiempo de vida	Ciclos	800	1000	1200
Carga rápida	Euros/Kwh	NO	50% - 0.5 h	Estudio
Reciclabilidad		SI	SI	Estudio
Costo		120	540	700
Rendimiento		0.8	0.75	0.9

La batería de alto voltaje del vehículo híbrido Toyota Prius se compone de 228 celdas con 1.2VDC cada una. Con este número de celdas y con ese nivel de voltaje por celda, se alcanza un voltaje nominal de 273 VDC en la batería de alto voltaje. Las celdas están dispuestas en 38 módulos de 6 celdas cada una. Toda esta estructura se ensambla en una sola unidad, la misma que se encuentra en la parte posterior del asiento trasero (figura 2.11).

La corriente máxima que provee la batería de alto voltaje (figura 2.12) es de 80 amperios de descarga y 50 amperios de carga. La capacidad nominal de la batería es de 6.5 amperios – h; sin embargo, el control electrónico del vehículo Toyota Prius sólo permite un 40% de esta capacidad para ser utilizado, con el fin de prolongar la vida útil de la batería. Además se restringe en la batería de alto voltaje, en la condición de carga, que varíe únicamente entre 40% y 80% de la carga total nominal.

Figura 2.11. Ubicación de la batería del alto voltaje HV.  
(Fuente: Vehículos híbridos. [www.mecanicavirtual.com](http://www.mecanicavirtual.com))



Figura 2.12. Batería de alto voltaje HV.  
(Fuente: TOYOTA Hybrid System. [www.toyota.com/prius-hybrid](http://www.toyota.com/prius-hybrid))



El híbrido Prius posee además una batería auxiliar de plomo-ácido, la misma que se encuentra en el lado izquierdo del vehículo. Esta batería suministra 12 VDC y 28 Amperios – h, el propósito de la batería auxiliar es suministrar de energía eléctrica a todos los accesorios y a la electrónica presente en el vehículo cuando el sistema híbrido se encuentra apagado y cuando el relé de alto voltaje de la batería principal no está energizado.

Si funciona el sistema híbrido la tensión de alimentación de 12 VDC proviene del sistema de alto voltaje por medio de un transformador de CC a CC. Además se puede cargar esta batería auxiliar, si es necesario, desde la batería de alta tensión.

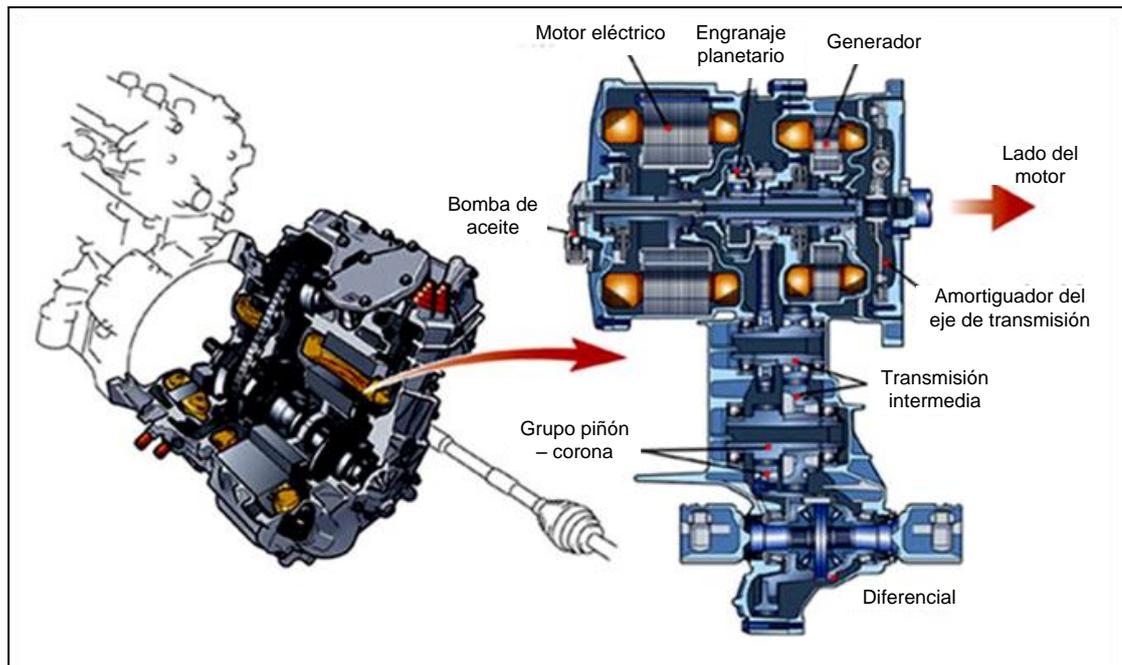
## 2.6 Transmisión híbrida

La transmisión híbrida es la encargada de llevar el movimiento desde los motores hacia las ruedas y también desde el motor de combustión interna hasta el generador. En el caso particular de los vehículos híbridos en configuración serie sólo el motor o los motores eléctricos transmiten movimiento a las ruedas. Si se usa un solo motor eléctrico es necesario tener un conjunto diferenciador para compensar la diferencia de velocidad lineal de las ruedas en las curvas; sin embargo, si se usan dos o hasta cuatro motores eléctricos, uno en cada rueda, no es necesario diferencial. Esto provoca que se simplifique la parte mecánica pero se complica el control electrónico de los motores eléctricos.

En los sistemas híbridos en configuración paralela, la transmisión es más compleja ya que, tanto el motor de combustión interna como el motor eléctrico tiene que transmitir movimiento a las ruedas. Se pueden conectar directamente al mismo eje el motor eléctrico y el motor de combustión interna a través de reducciones mecánicas fijas y este eje se conecta al eje motriz por medio de un conjunto diferencial. En el caso de utilizar un generador independiente también deberá estar conectado a este eje común. Además el motor de combustión interna tendrá que poder desconectarse de la transmisión cuando el sistema funcione únicamente con el motor eléctrico. Esto se logra a través de un embrague electromagnético controlado por la unidad de control electrónica.

El motor eléctrico y el alternador no es necesario desconectarlos de la transmisión, ya que basta con desconectarle la alimentación con lo que no circulará intensidad por ellos y no producirán par resistente. En la tecnología del vehículo Toyota Prius la transmisión (figura 2.13) se denomina "Power Split Device". Esta transmisión no posee una caja de cambios convencional con distintos engranajes, ni una caja de cambios automática. Este vehículo híbrido tiene un engranaje planetario para transmitir el movimiento de los motores, tanto eléctrico como de combustión interna, a las ruedas. Al no tener una caja de cambios normal aporta con ventajas como: menor peso, mayor espacio y disminución de pérdidas por rozamiento.

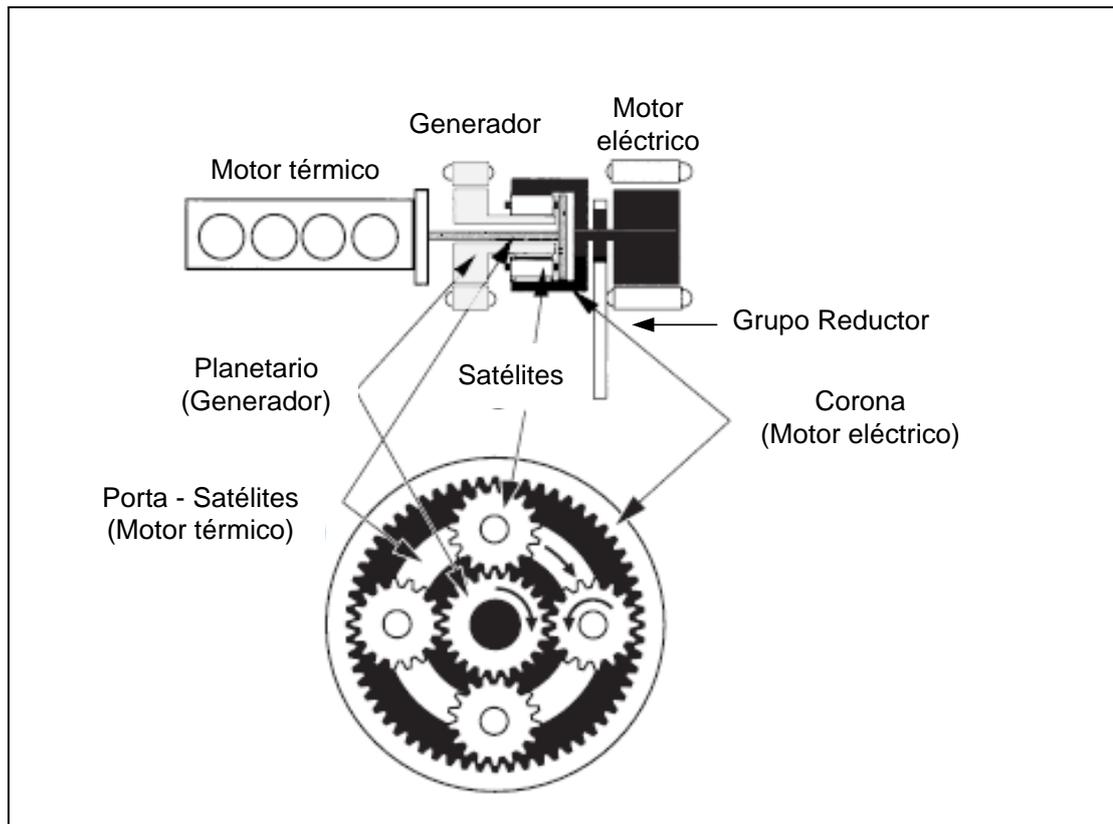
Figura 2.13. Transmisión híbrida.  
(Fuente: *Vehículos híbridos*. [www.mecanicavirtual.com](http://www.mecanicavirtual.com))



Debido a que el motor eléctrico siempre funciona a plena carga, es necesario un sistema de engranaje planetario (Power Split Device) para que en estas condiciones del motor eléctrico se pueda utilizar tanto para arrancar en marcha lenta como para recorrer a gran velocidad. El engranaje planetario (figura 2.14) posee tres elementos: un planeta o engranaje central, satélites que giran alrededor del planeta, y una corona con un dentado interior al cual también están engranados los satélites.

El porta – satélites está engranado al motor de combustión interna, al planetario el generador eléctrico, y la corona al motor eléctrico y a las ruedas. Lo importante del sistema de transmisión híbrida es que el giro del generador eléctrico puede ser mayor o menor, dependiendo de la resistencia que se oponga. Por ejemplo, si es necesario un desarrollo corto, el generador eléctrico opone una gran resistencia al movimiento. Con esta oposición del generador al movimiento se logra quitar fuerza al motor de combustión interna y envía esta fuerza al motor eléctrico, que también mueve las ruedas. La fuerza que recibe el motor eléctrico es finalmente la misma que la del motor de combustión interna, si no entra a funcionar las baterías. A medida que el vehículo gana velocidad, el generador eléctrico opone cada vez menos resistencia y el giro se incrementa, con ello se logra que el desarrollo se haga más largo.

Figura 2.14. Esquema del engranaje planetario de la transmisión.  
 (Fuente: TOYOTA Hybrid System. [www.toyota.com/prius-hybrid](http://www.toyota.com/prius-hybrid))



En caso de que las baterías no intervengan en la aceleración, toda la fuerza de la que dispone el vehículo proviene del motor de combustión interna; sin embargo, esta fuerza puede llegar a las ruedas a través del motor eléctrico, alimentado por el generador, o directamente por medio del motor de combustión interna, si el generador no interviene.

En la cadena cinemática del Toyota Prius (figura 2.15), se puede observar que se ha simplificado enormemente la manera en que el motor de combustión interna acciona los engranajes planetarios del sistema de transmisión (Power Split Device) y la forma en que la corona está conectada a la cadena silenciosa, el piñón de la cadena y el moto – generador 2 (MG2). El eje de del motor de combustión interna pasa a través del eje del moto – generador MG1 hasta llegar al porta -satélites del sistema Power Split Device. Por razones de espacio, la transmisión permite que entre la corona y el conjunto diferencial exista una cadena de transmisión y dos pares de engranajes (figura 2.16).

Figura 2.15. Cadena cinemática de la transmisión híbrida.  
 (Fuente: TOYOTA Hybrid System. [www.toyota.com/prius-hybrid](http://www.toyota.com/prius-hybrid))

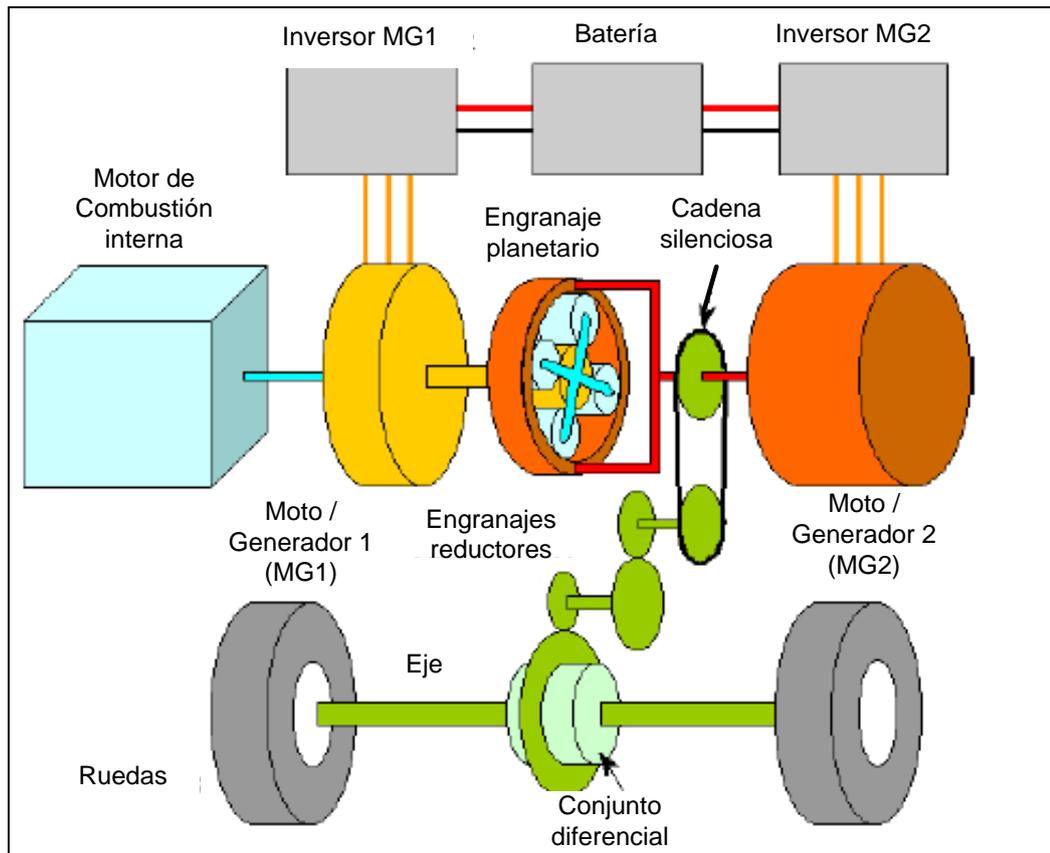


Figura 2.16. Transmisión del movimiento corona – conjunto diferencial.  
 (Fuente: *Vehículos híbridos*. [www.mecanicavirtual.com](http://www.mecanicavirtual.com))



Siempre que el vehículo híbrido se encuentra en movimiento, la corona del engranaje planetario también se mueve. La fuerza para que la corona se mueva proviene del motor eléctrico (MG2) directamente o del empuje que le proporciona el motor de combustión interna. Cuanto más lenta es la velocidad del vehículo, tanto mayor fuerza proviene del motor eléctrico; mientras que si se aproxima a la velocidad máxima, toda la fuerza proviene del motor térmico.

A continuación se presentan algunas condiciones de funcionamiento del sistema de engranajes planetarios:

- El vehículo se mueve sólo con la energía de la batería. En esta condición un régimen del motor eléctrico distinto de cero indica que el vehículo está en marcha. El motor de combustión interna está detenido y el generador funciona en sentido inverso, sin producir energía eléctrica.
- El vehículo está detenido y el motor de combustión se encuentra cargando la batería. En estas condiciones, si el vehículo está parado y la batería llega al límite mínimo de descarga, el motor de combustión interna se enciende. El generador ofrece oposición y por eso genera energía eléctrica que se destina a cargar la batería.
- El vehículo está avanzado a velocidad constante. En este caso, el vehículo se está desplazando debido a que los porta – satélites (motor de combustión interna) empuja a la corona (motor eléctrico) mientras que el planetario está detenido (generador). En estas condiciones la propulsión es enteramente mecánica.
- El vehículo acelera fuertemente. Cuando el vehículo está en marcha y el conductor pisa el acelerador, el generador se pone en marcha. En ese caso, la fuerza con que el motor eléctrico impulsa a las ruedas procede de tres fuentes simultáneamente: una, el motor de combustión interna mueve al generador que a su vez alimenta al motor eléctrico. Dos, el motor de combustión interna impulsa mecánicamente al motor eléctrico. Tres, la batería suministra electricidad al motor eléctrico.

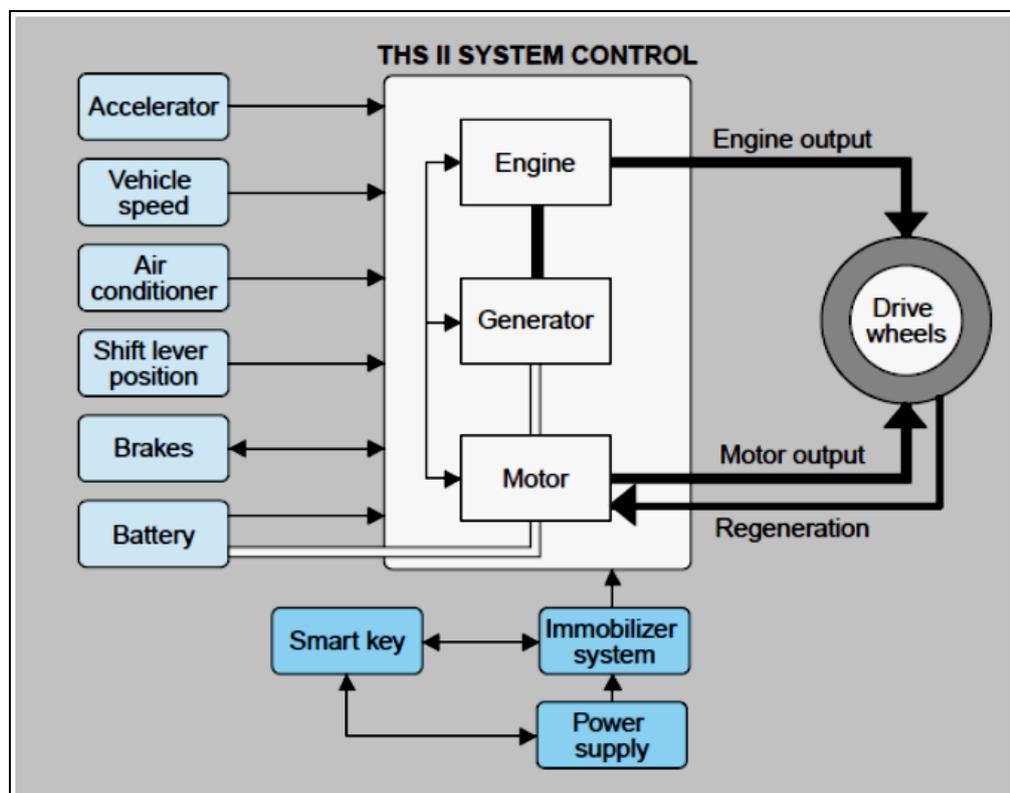
Existen otras condiciones de funcionamiento posibles, pero en cualquiera de ellas el principio es el mismo. La energía eléctrica que suministra el generador no depende

sólo de su giro ya que el sistema puede variar o eliminar completamente el par resistente del generador para adecuar la energía que genera a cada condición de funcionamiento. Esta transmisión no dispone de marcha atrás, de esta función se encarga el motor eléctrico que puede girar en ambos sentidos, invirtiendo la alimentación, por lo tanto la marcha atrás se hará siempre con el motor eléctrico, para esta función no se utiliza el motor de combustión interna.

## 2.7 Unidad de control electrónica

La función de la unidad de control presente en un sistema híbrido es la de regular el funcionamiento de los dos motores, tanto el de combustión interna como el eléctrico. Dependiendo de las condiciones de funcionamiento del vehículo es necesario controlar, por medio de la unidad de control electrónica THS II (figura 2.17), cuándo entran en funcionamiento o cuándo se detienen los motores; siempre persiguiendo un mayor ahorro de combustible, mínimas emisiones y exigencias de potencia.

Figura 2.17. Sistema de control THS II.  
(Fuente: TOYOTA Hybrid System. [www.toyota.com/prius-hybrid](http://www.toyota.com/prius-hybrid))



“El sistema de control THS II gestiona en su máxima eficiencia controlando la energía usada por el vehículo, lo cual incluye la energía para mover el vehículo así

como también la energía usada para dispositivos auxiliares, como el aire acondicionado, los calentadores, los focos delanteros y el sistema de navegación.

El control de sistema monitorea los requisitos y las condiciones operativas de componentes del sistema híbrido, como elemento principal, el motor térmico que es la fuente de energía para el vehículo híbrido entero; El generador, que se utiliza como motor de arranque para el motor térmico y además convierte la energía del motor térmico sobrante en electricidad; El motor eléctrico, que mueve el vehículo usando la energía eléctrica de la batería; Y la batería, que almacena la energía eléctrica generada a través de la regeneración de electricidad por el motor eléctrico durante la desaceleración. El sistema de control también tiene en cuenta las informaciones que recibe del sensor de freno, sensor de velocidad, posición del acelerador, así como cuando el conductor actúa sobre la palanca de cambio.”<sup>4</sup>

A continuación se define algunas acciones que debe efectuar la unidad de control electrónica; dependiendo de las condiciones de funcionamiento del vehículo híbrido.

- En el momento del arranque y a bajas velocidades, El moto – generador MG2 proporciona la fuerza motriz principal. El motor de combustión interna puede encenderse inmediatamente si el nivel de carga de la batería de alto voltaje HV es bajo. Cuando la velocidad del vehículo sobrepasa los 25 a 32 Km/h, el motor de combustión interna se enciende.
- Cuando se conduce en condiciones normales, la energía del motor se divide en dos partes; una porción sirve para impulsar las ruedas y la otra parte acciona el moto - generador MG1 para producir electricidad. La unidad electrónica controla la distribución de la cantidad de energía eléctrica para una máxima eficiencia.
- Durante la aceleración máxima, la potencia es generada por el motor de combustión interna y el moto – generador MG1, la misma que extrae energía de la batería HV. El par del motor de combustión interna unido con el par del moto – generador MG2 proporcionan la potencia necesaria para acelerar el vehículo.

---

<sup>4</sup> *Vehículos híbridos*. [www.mecanicavirtual.com](http://www.mecanicavirtual.com)

- Durante la deceleración o el frenado, la energía de las ruedas accionan el moto – generador MG2. El MG2 actúa como un generador para la recuperación de la energía cinética presente en las ruedas y la convierte en energía eléctrica que sirve para cargar la batería de alto voltaje HV.

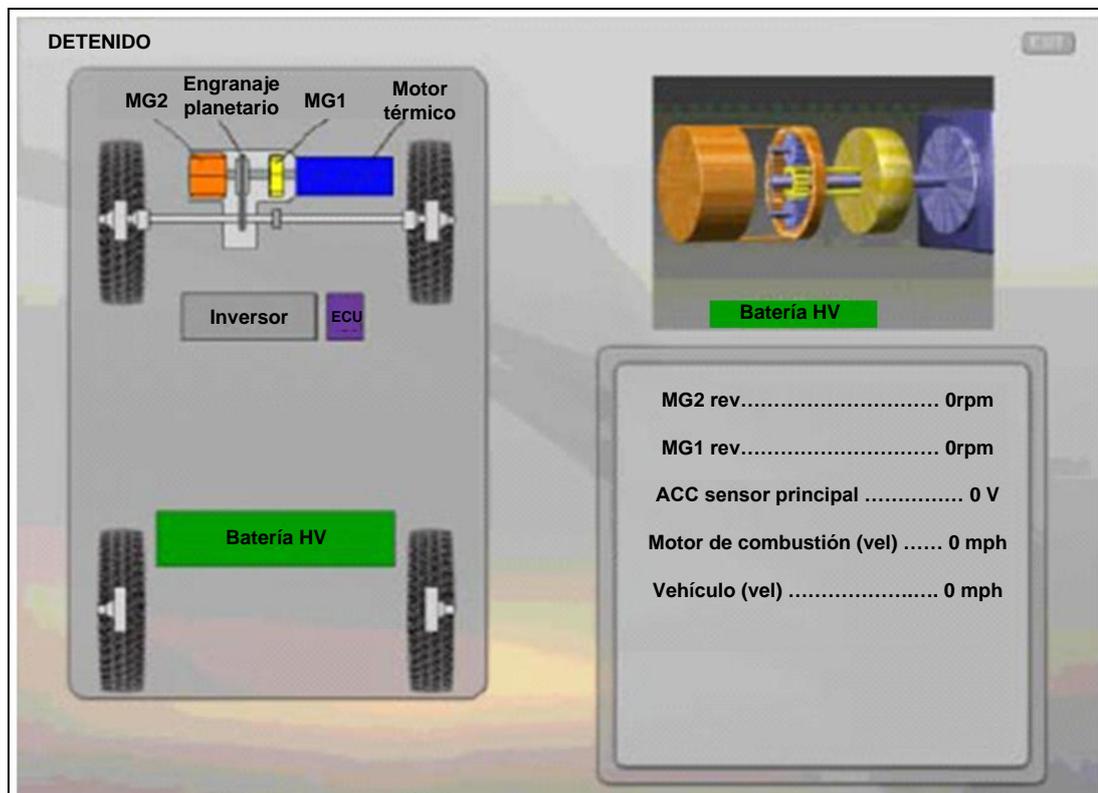
### 2.7.1 Estrategias de control híbrida

Los sistemas híbridos utilizan varias estrategias almacenadas en la memoria de la unidad de control electrónica para llevar a cabo las operaciones más eficientes en respuesta a las condiciones de conducción. A continuación se indica cada una de estas estrategias.

#### 2.7.1.1 Detenido

Si la batería de alto voltaje está cargada completamente y el vehículo no se mueve (figura 2.18), el motor de combustión interna se puede detener. El motor de combustión interna se pondrá en marcha automáticamente cuando la batería de alto voltaje HV necesite ser cargada. Además, si se selecciona Max A / C, el motor de combustión interna funciona ya que el compresor es accionado por este motor.

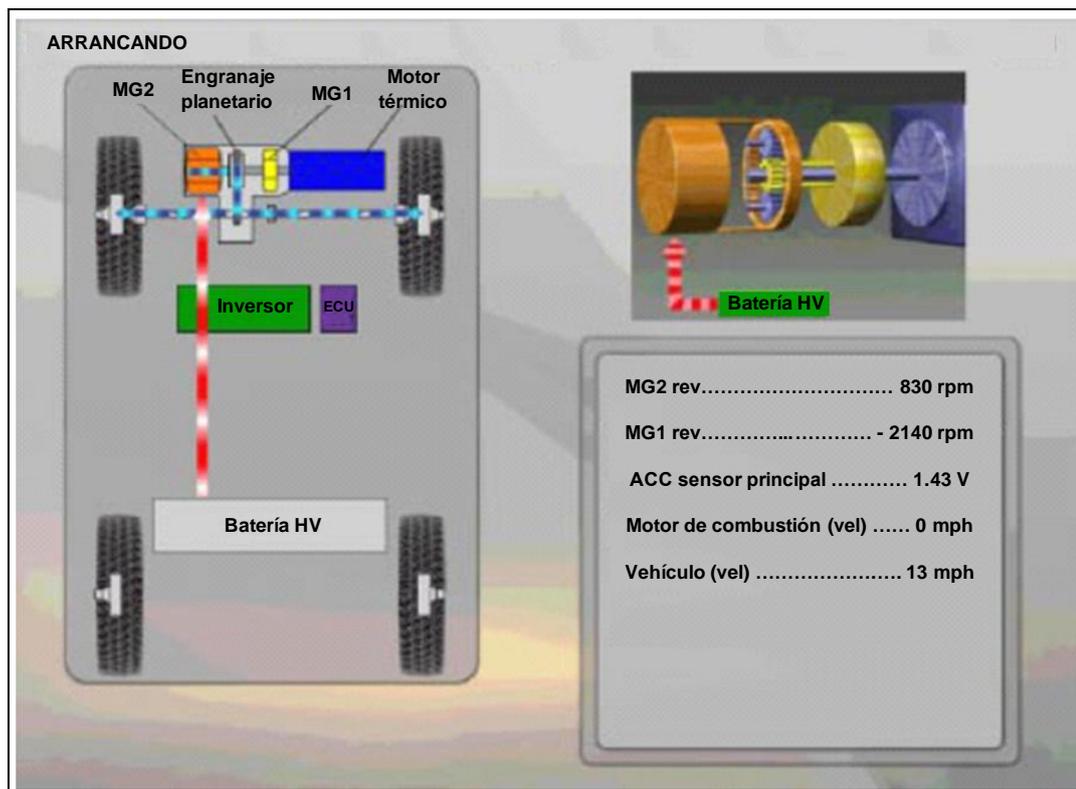
Figura 2.18. Estrategia de control (Detenido).  
 (Fuente: Toyota Hybrid System. Hybrid System Overview. www.autoshop101)



### 2.7.1.2 Arranque

Al arrancar con una carga ligera y aceleración ligera (figura 2.19), sólo el moto – generador MG2 proporciona potencia a las ruedas. El motor de combustión interna no trabaja y el vehículo funciona únicamente con energía eléctrica. Mientras que el moto – generador MG1 gira al revés y no genera energía eléctrica, quedando así inactivo.

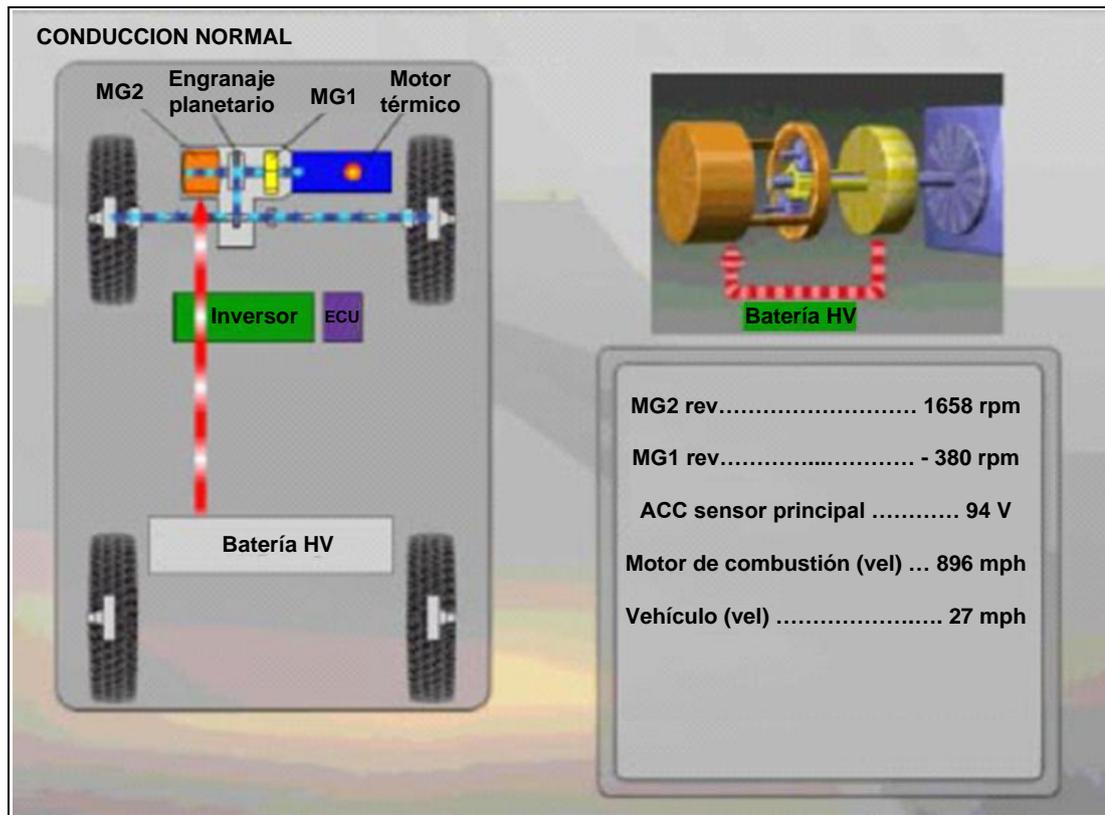
Figura 2.19. Estrategia de control (Arrancando).  
(Fuente: Toyota Hybrid System. Hybrid System Overview. [www.autoshop101](http://www.autoshop101))



### 2.7.1.3 Conducción normal

Durante una conducción normal (figura 2.20) a baja velocidad (25 – 64 Km/h), el motor de combustión interna se enciende y provee de potencia a las ruedas. El moto – generador MG2 se enciende y funciona como motor eléctrico proporcionando una potencia eléctrica adicional a las ruedas. El moto – generador MG1 se enciende y gira en la misma dirección del motor de combustión interna generándose así energía eléctrica. A esta energía de MG1 se suma la energía proveniente de la batería de alto voltaje, con lo cual se logra así disponer de la corriente necesaria para que MG2 funcione.

Figura 2.20. Estrategia de control (Conducción normal).  
 (Fuente: Toyota Hybrid System. Hybrid System Overview. www.autoshop101)



#### 2.7.1.4 Máxima aceleración y altas velocidades

Para una máxima aceleración ó velocidad por encima de las 160 Km/h (figura 2.21), la potencia entregada por el moto – generador MG2 complementa la potencia que provee por el motor de combustión interna. La batería de alto voltaje HV proporciona la corriente necesaria para que MG2 funcione. Además el moto – generador MG1 recibe energía de la batería de alto voltaje HV y gira en sentido inverso para provocar una relación de sobre marcha para máxima velocidad.

#### 2.7.1.5 Desaceleración y frenado

Tan pronto como el conductor pisa el pedal del freno. MG2 se convierte en generador de energía eléctrica (figura 2.22). MG2 gira por acción de las ruedas del vehículo y genera electricidad para cargar la batería HV. A este proceso se le conoce con el nombre de freno regenerativo. Como el vehículo desacelera, el motor de combustión se detiene y MG1 gira en reversa para mantener la relación de transmisión. Cuando el pedal de freno es accionado, la mayor parte de la fuerza de

frenado inicial proviene del freno regenerativo y de la fuerza que requiere para hacer girar MG2 como generador. Luego el freno hidráulico proporciona la fuerza adicional de frenado para que el vehículo se detenga.

Figura 2.21. Estrategia de control (Máxima aceleración y altas velocidades).  
(Fuente: Toyota Hybrid System. Hybrid System Overview. www.autoshop101)

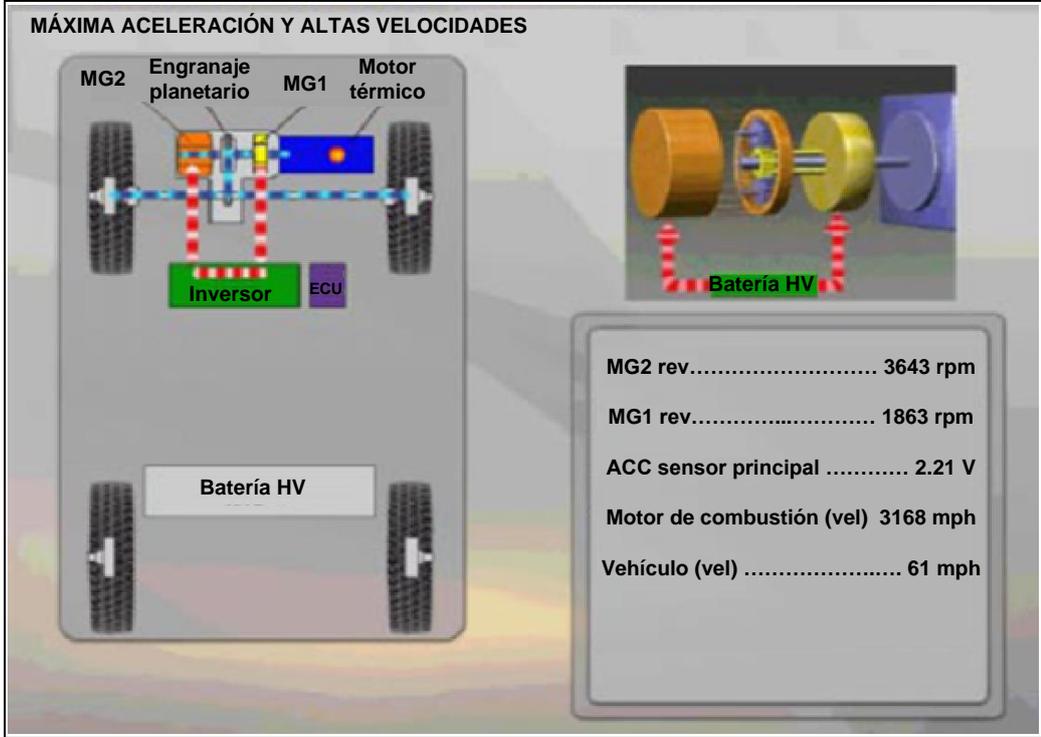
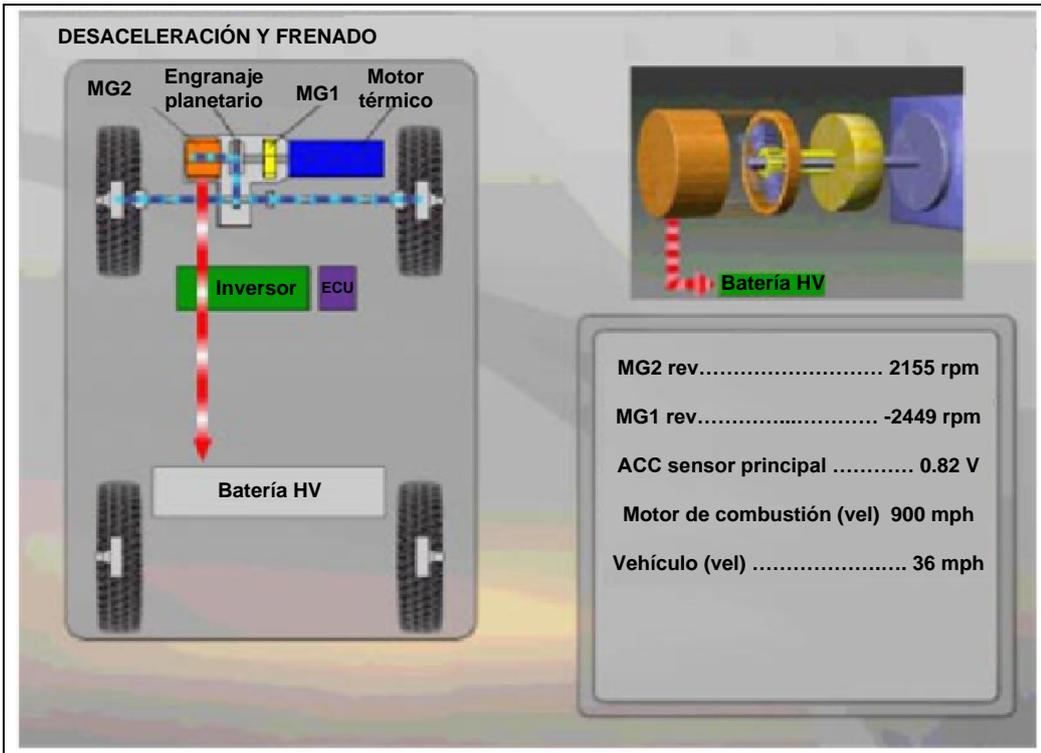


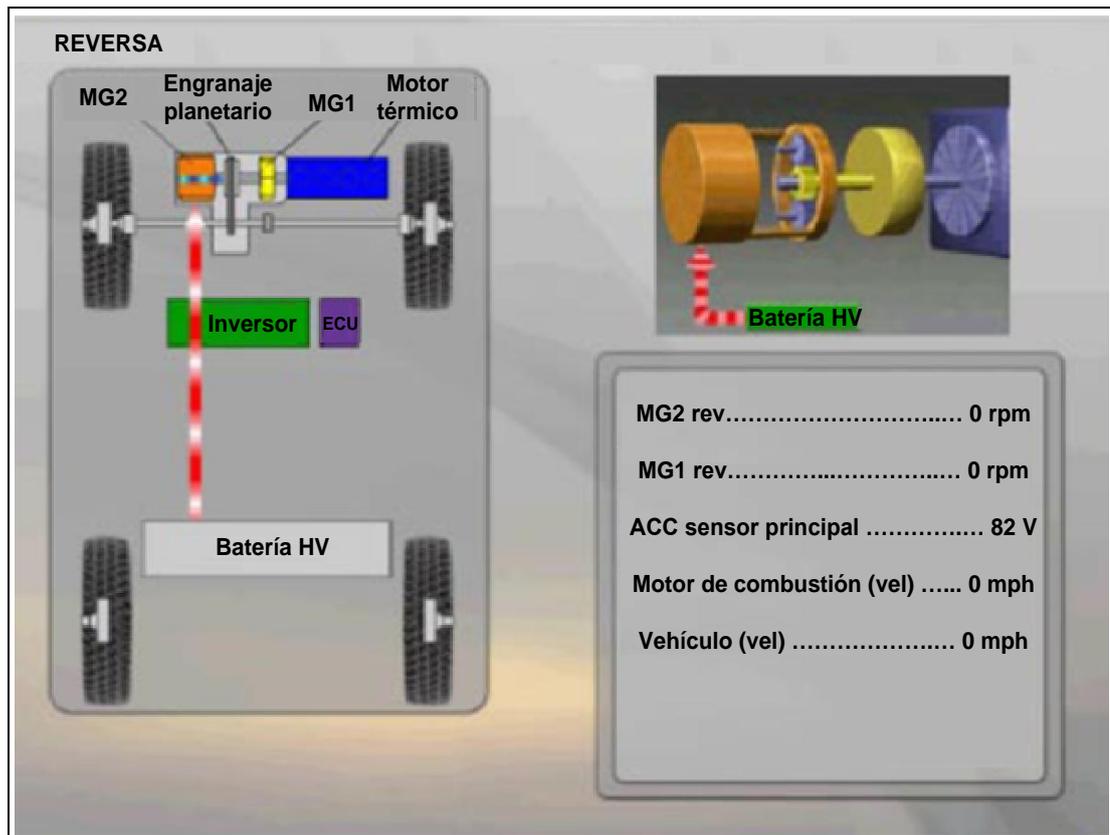
Figura 2.22. Estrategia de control (desaceleración y frenado).  
(Fuente: Toyota Hybrid System. Hybrid System Overview. www.autoshop101)



### 2.7.1.6 Reversa

Cuando el vehículo se mueve en reversa (figura 2.23), MG2 gira en reversa como un motor eléctrico. El motor de combustión interna se mantiene apagado y MG1 gira en dirección frontal a mínima velocidad sin generar electricidad.

Figura 2.23. Estrategia de control (reversa).  
(Fuente: Toyota Hybrid System. Hybrid System Overview. [www.autoshop101](http://www.autoshop101))



## 2.8 Conclusiones

- Para escoger la configuración de un sistema híbrido y seleccionar los componentes que forman un sistema híbrido se dará prioridad a las características de potencia, economía y viabilidad.
- Los sistemas para almacenar la energía eléctrica son en la actualidad uno de los mayores problemas que presentan los vehículos eléctricos ya que la autonomía de éstos es limitada comparada con un sistema convencional, además el tiempo de carga de la batería es demasiado largo. Por estas circunstancias una de las mayores ventajas de los sistemas híbridos es que

combinan la capacidad energética de los combustibles fósiles con las bondades de los vehículos eléctricos en cuanto a economía y eficiencia.

- Para la elección del tipo de motor de combustión interna de un sistema híbrido estará influenciado por el tipo de configuración que se va a construir. En el caso de una configuración serie el motor de combustión no está sometido a cambios bruscos de carga por lo que el tiempo de respuesta puede ser larga. Ahora si el tipo de configuración es en paralelo o mixta el motor es necesario que el motor de combustión tenga respuestas lo suficientemente cortos para que no afecten las condiciones de funcionamiento del híbrido.
- Con la tecnología disponible en la actualidad resulta factible la construcción de un sistema híbrido que no pierda las prestaciones que proporciona un sistema convencional. Todo esto se puede realizar; sin embargo, es claro un aumento de los costos en los componentes, diseño y construcción del sistema híbrido.

## CAPÍTULO III

### CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA HÍBRIDO – CONFIGURACIÓN SERIE

#### 3.1 Introducción

Este capítulo describe: el proceso de construcción del sistema híbrido en configuración serie, la selección de los componentes con su respectiva información técnica, el acople de los cada uno de los elementos mecánicos y electrónicos del sistema, y el diseño e implementación del software y hardware para la etapa de control del motor de combustión interna.

#### 3.2 Sistema híbrido en serie

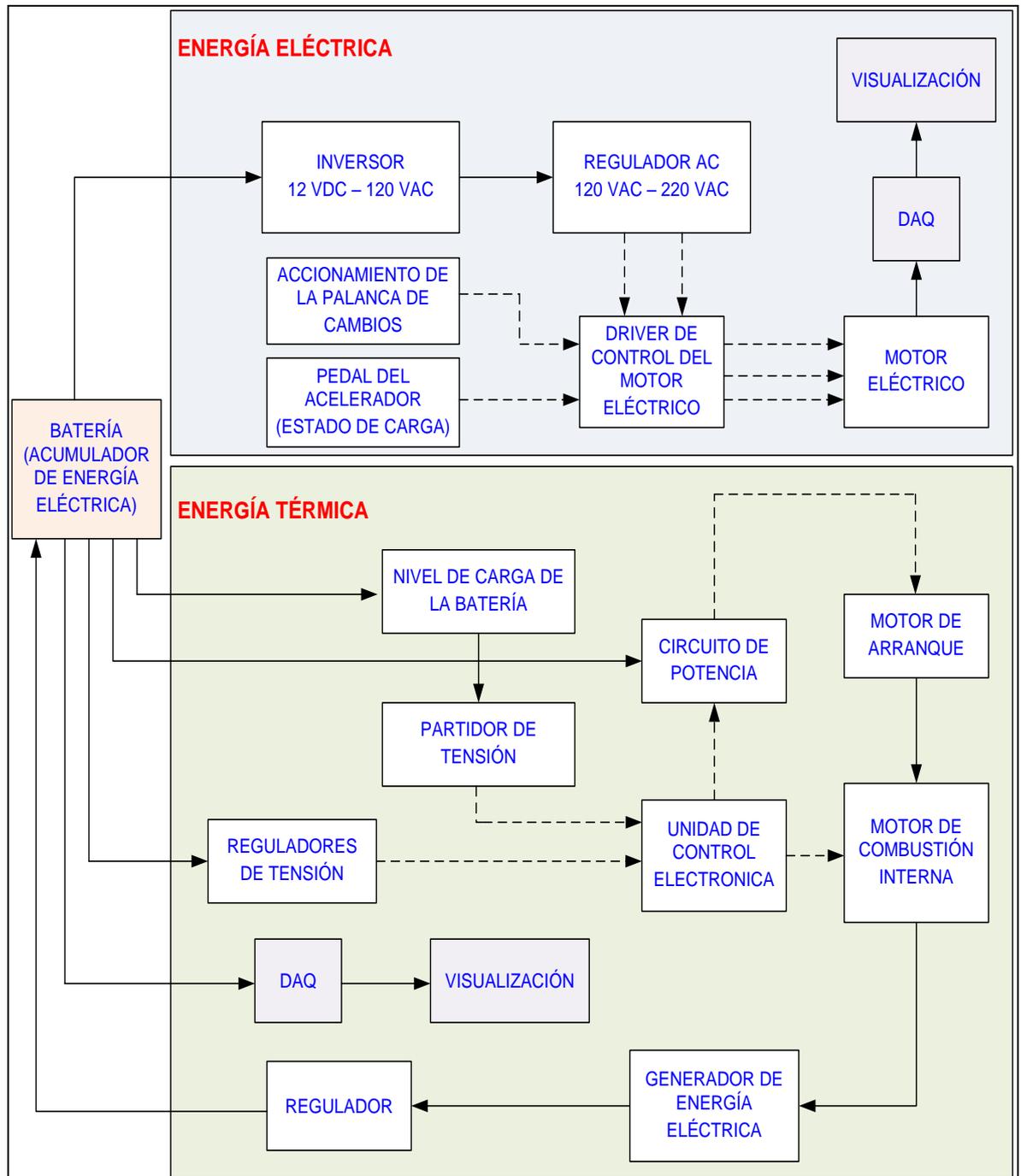
En los sistemas híbridos en configuración serie (figura 1.8) el motor eléctrico es alimentado por la batería de alto voltaje a través del inversor y es el único que provee de potencia a las ruedas. Cuando la batería baja su nivel de voltaje hasta un límite mínimo, el generador eléctrico se encarga de enviar energía hacia la batería por medio del inversor. El generador a su vez toma energía mecánica desde el motor de combustión interna para así transformarla en energía eléctrica.

La batería es un acumulador de la energía eléctrica que cuando está cargada en su totalidad, permite que el motor de combustión interna se apague temporalmente, de tal manera que las ruedas giran únicamente por el motor eléctrico. En el siguiente esquema (figura 3.2) se puede observar las funciones del sistema híbrido, en donde se diferencian los procesos al que se ven sometidos tanto la energía eléctrica como la energía térmica. Las relaciones electrónicas, en línea discontinua, entre algunos elementos, el driver de control y la unidad de control electrónica.

Básicamente se tiene dos etapas bien definidas en el sistema híbrido en serie: la etapa de energía eléctrica y la etapa de energía térmica. En la etapa de energía eléctrica el nivel de voltaje que presenta la batería, en condiciones normales de carga, es de 12 VDC aproximadamente. El voltaje de la batería es transformada a una corriente alterna de 120 VAC a través del inversor; sin embargo, el driver o controlador del motor eléctrico funciona a 220 VAC, por lo que es necesario que el

voltaje que suministra el inversor sea transformado a 220 VAC, lo cual se realiza por medio del regulador AC. Finalmente el que controla la velocidad y el sentido de giro del motor eléctrico es el driver, dependiendo de posición de la palanca de cambios y del pedal del acelerador.

Figura 3.1. Esquema de las funciones del sistema híbrido.



En la etapa de energía térmica se controla el nivel de carga de la batería por medio de un partidor de tensión. La unidad de control adquiere el dato del voltaje de la batería y cuando llega a un límite mínimo la propia unidad de control electrónica es

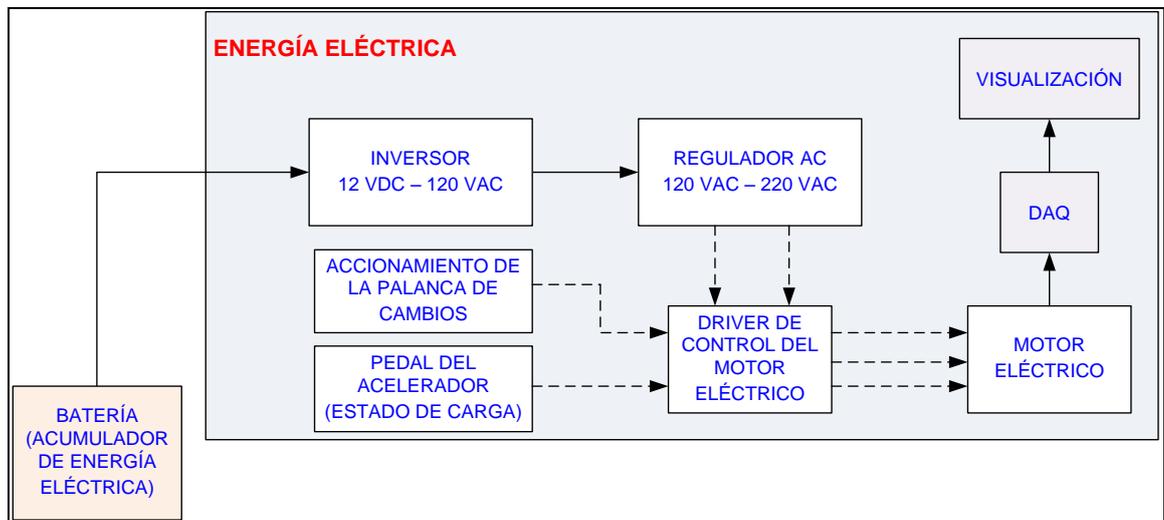
la encargada de procesar esa información y accionar un relé de activación. El relé de activación accionará el motor de arranque permitiendo que el motor de combustión interna entre en funcionamiento. Una vez que el motor de combustión interna se encuentra girando arrastra al generador transformando así la energía mecánica en energía eléctrica.

La electricidad producida por el generador tiene como objetivo cargar la batería. Si el nivel de carga de la batería alcanza un límite máximo, la etapa de energía térmica del sistema híbrido se desconecta.

### 3.3 Etapa eléctrica

La función que cumple la etapa de energía eléctrica (figura 3.3) dentro del sistema híbrido es controlar la velocidad y el sentido de giro del motor eléctrico. A continuación se describe los componentes presentes en esta etapa y los procesos necesarios para poder controlar el motor eléctrico del sistema.

Figura 3.2. Etapa de energía eléctrica.



#### 3.3.1 Batería

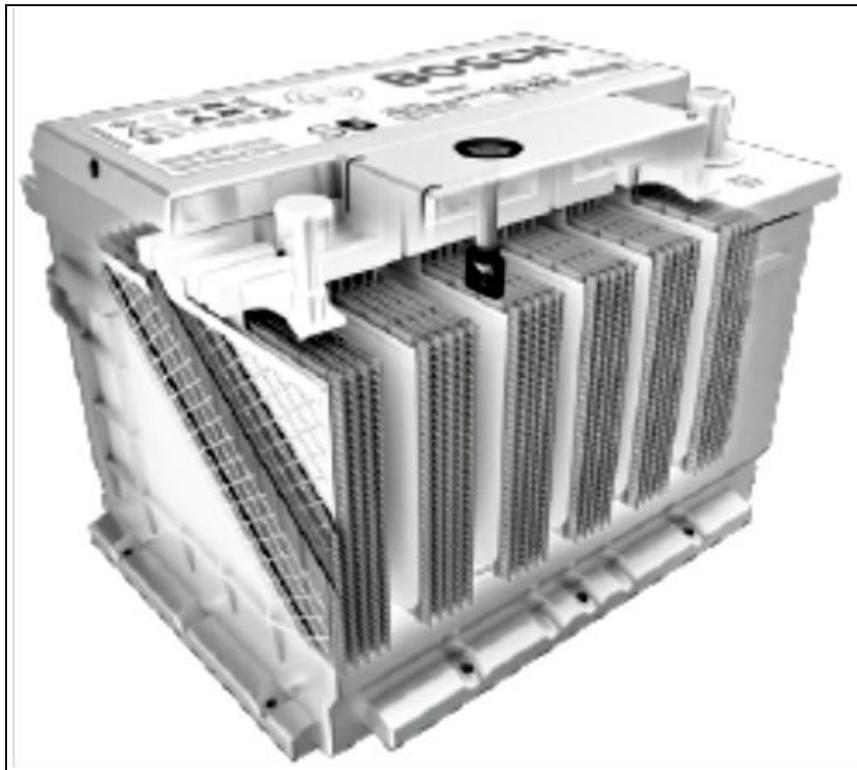
La batería tiene como objetivo el almacenamiento químico de la energía eléctrica generada por el alternador cuando el motor de combustión interna está en funcionamiento. La energía almacenada en la batería debe estar disponible para alimentar el motor eléctrico, dependiendo de las condiciones de funcionamiento del sistema. Cuando el motor de combustión se encuentre detenido y, por lo tanto, el

alternador también, la batería debe ser capaz de suministrar una alta corriente, por un tiempo limitado, para alimentar al driver. La batería también absorbe los picos de voltaje del sistema eléctrico para que ellos no dañen los componentes electrónicos sensibles de la unidad de control electrónica.

“Una batería de arranque de 12 V contiene seis celdas individualmente separadas y conectadas, en serie, en una caja de polipropileno (figura 3.4). Cada celda contiene un elemento (bloque de celdas) que está compuesto de un bloque de placas positivas y negativas.

Por su parte, el bloque está compuesto de placas de plomo (rejilla de plomo y masa activa) y material microporoso de aislamiento (separadores) entre las placas de polaridad opuesta. El electrolito es ácido sulfúrico diluido que permea los poros de las placas y separadores y que llena los espacios libres de las celdas. Los terminales, las conexiones de las celdas y de las placas son hechas de plomo.”<sup>5</sup>

Figura 3.3. Construcción de la batería.  
(Fuente: Manuales de baterías Bosch. [www.catalogobosch.com](http://www.catalogobosch.com))



<sup>5</sup> BOSCH. *Manuales de baterías Bosch*. [www.catalogobosch.com](http://www.catalogobosch.com)

El sistema híbrido construido utiliza una batería Bosch S3 de plomo – ácido (figura 3.5) cuyas características son: 12 VDC de capacidad nominal. La capacidad nominal es una medida para la energía que puede ser almacenada por una nueva batería. Esa capacidad depende de la cantidad del material activo usado en la batería y de la densidad del electrolito. 40 Amperios – h de capacidad disponible. La capacidad es la cantidad de potencia eléctrica que la batería consigue suministrar en determinadas condiciones. Ella es el producto de la corriente y del tiempo (ampere-hora, Ah).

Figura 3.4. Batería de plomo – ácido BoschS3.  
(Fuente: Manuales de baterías Bosch. [www.catalogobosch.com](http://www.catalogobosch.com))



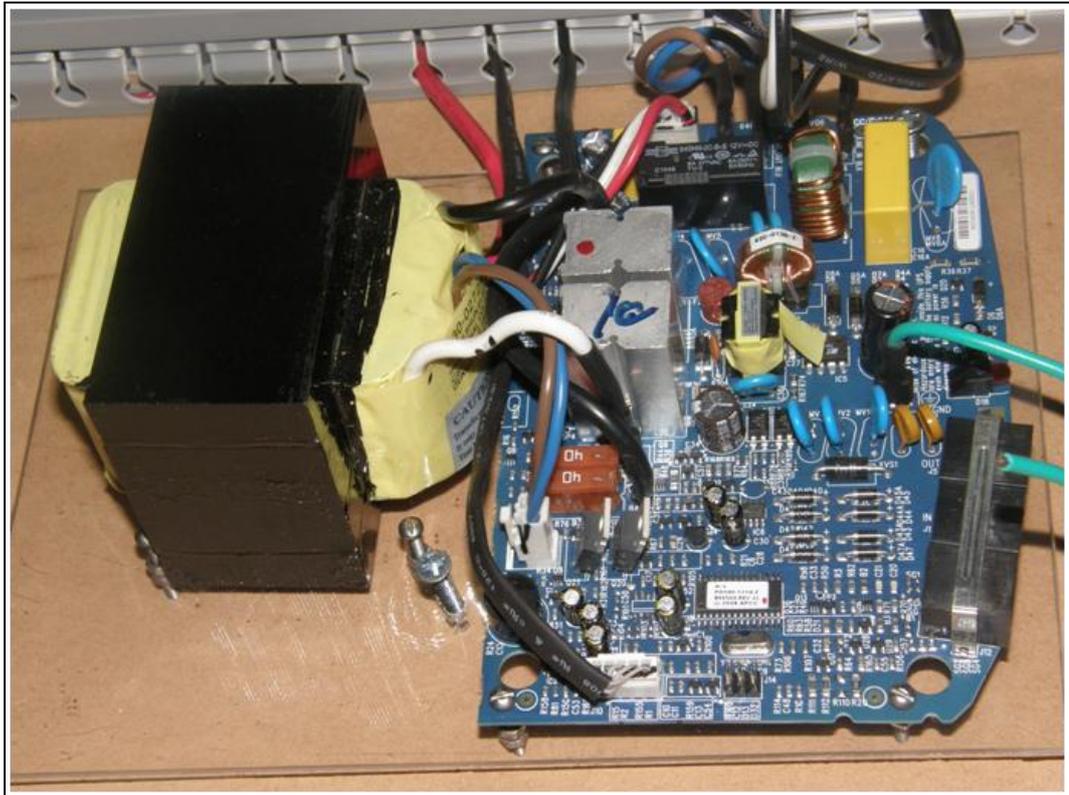
Finalmente con una tasa de capacidad de reserva de 65. La tasa de capacidad de reserva es el período de tiempo, en minutos, durante el que una batería nueva y totalmente cargada consigue suministrar 25 A en 27° C, manteniendo un voltaje de terminal de 1,75 V o mayor por celda (10,5 V para una batería de 12 V). Esa tasa representa el período de tiempo durante el que la batería consigue operar el motor eléctrico sin que el alternador se encuentre cargando la batería.

Uno de los factores que más influyen en la vida útil de las baterías es el régimen de uso. Lo cual implica que no debería descargarse más allá del 80% de su capacidad total y no debe ser sometida a grandes potencias de carga y descarga. El tiempo de carga promedio esta alrededor 3 minutos.

### 3.3.2 Inversor

La inversión electrónica es el proceso capaz de transformar la corriente continua en corriente alterna. El inversor (figura 3.6) es un dispositivo completamente autónomo, es decir que no necesitan estar conectados a ninguna red de alterna, únicamente permiten la transformación de continua a alterna.

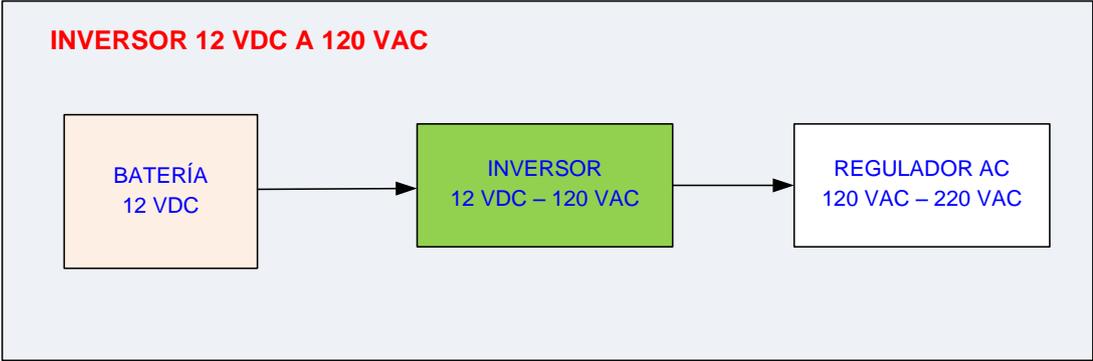
Figura 3.5. Inversor.



Como se puede observar en el esquema entrada – salida (figura 3.7) del sistema híbrido, el inversor recibe el voltaje de corriente continua proveniente de la batería y la transforma en corriente alterna necesaria para alimentar el regulador AC; es decir, el objetivo inversor es asegurar el suministro de una tensión sinusoidal de 120 VAC, dentro de unos determinados márgenes de tolerancia, hacia el regulador AC.

Para suministrar la tensión sinusoidal de 120 VAC es necesario emplear el inversor, que a partir de los condensadores en la entrada genere dicha tensión. A continuación se detalla el análisis del inversor y algunas características de funcionamiento.

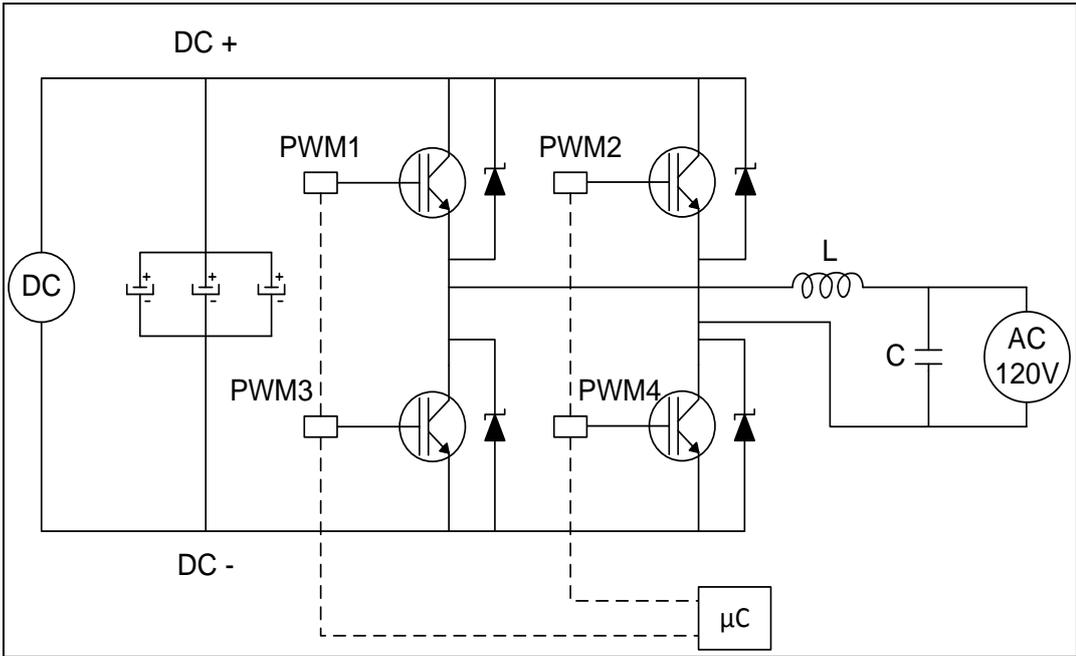
Figura 3.6. Esquema entrada – salida del inversor.



**3.3.2.1 Análisis del inversor**

La estructura interna del inversor es un puente diodo rectificador (figura 3.8) en donde los interruptores electrónico son los transistores de potencia MOSFET (metal–oxide–semiconductor field – effect transistor). La corriente continua que llega de la batería hacia el inversor se utiliza para generar una corriente alterna a frecuencia constante. El inversor (convertidor) cuenta con cuatro transistores de potencia, los mismos que son controlados a través de señales PWM. Estas señales son generadas por el microcontrolador con el fin de obtener a la salida del inversor corriente alterna (AC). El nivel de voltaje a la salida del inversor es determinado por el ciclo de trabajo de las señales PWM.

Figura 3.7. Estructura del inversor.

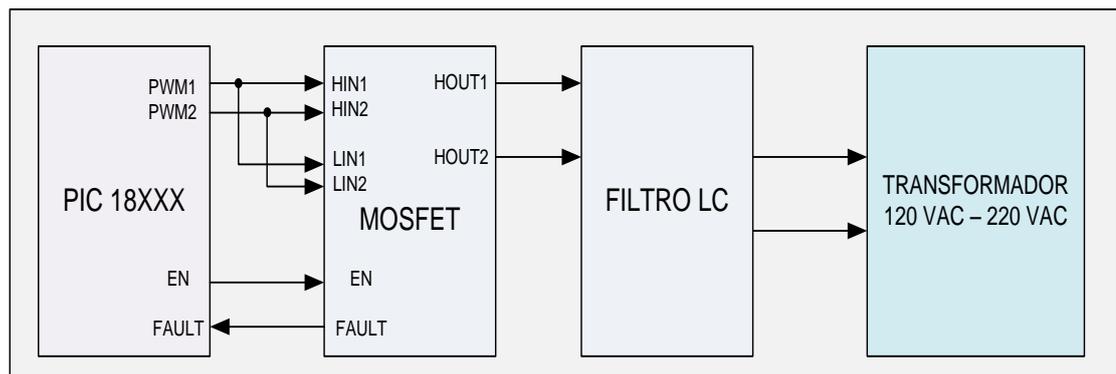


Cuando los transistores de potencia están accionados, la corriente fluye desde la batería hacia la salida del inversor. Cuando los transistores no están en actividad es necesario disipar la corriente inversa que puede generar la carga; es decir, el driver de control del motor eléctrico. Para disipar estas corrientes inductivas provenientes de la carga se coloca diodos rectificadores en paralelo a los transistores de potencia.

### 3.3.2.2 Control de los transistores de potencia

Para obtener una corriente alterna a la salida del inversor, es necesario controlar la duración del ancho del pulso (PWM). Dos señales PWM controlan los transistores de potencia superiores del inversor, mientras que los transistores inferiores se controlan invirtiendo las señales PWM de los transistores superiores correspondientes (figura 3.9).

Figura 3.8. Etapas del inversor.



Los PICs de la serie 18XXX2 poseen dos salidas PWM de 10 – bits cada uno implementados en su hardware. Para establecer el ciclo de trabajo PWM se codifica los ocho bits más altos del registro CCPE<sub>x</sub>L y los dos bits más bajos del registro CCP<sub>x</sub>CON. Por otro lado, la frecuencia PWM se establece mediante el registro PR2, esta frecuencia es común para ambos PWMs.

El TIMER 2 es un temporizador de 8 bits que se utiliza para controlar el tiempo del hardware PWM. El procesador del microcontrolador se interrumpe cuando el valor del TIMER 2 coincide con el valor de PR2. La configuración de los registros y todo el software del microcontrolador (figura 3.10) para la variación del ancho del pulso PWM de cada transistor se lo puede codificar en lenguaje de ensamblador (MPLAP).

Figura 3.9. Codificación PWM (Ensamblador)  
 (Fuente: Speed Control of 3-Phase Induction Motor Using. www.microchip.com)

```

;*****
;This routine will update the PWM duty cycle on CCPx according to the
;offset to the table with 0-120-240 degrees.
;This routine scales the PWM value from the table based on the frequency
;constant.
;*****
UPDATE_PWM_DUTYCYCLES
    movf    TABLE_OFFSET1,W
    movf    PLUSW0,W
    bz     PWM1_IS_0
    mulwf  FREQUENCY          ;Table_value X Frequency
    movff  PRODH,CCPR1L_TEMP
    bra   UPDATE_PWM2
PWM1_IS_0
    clrf   CCPR1L_TEMP        ;Clear the PWM duty cycle register
    bcf   CCP1CON,4
    bcf   CCP1CON,5

UPDATE_PWM2
    movf    TABLE_OFFSET2,W
    movf    PLUSW0,W
    bz     PWM2_IS_0
    mulwf  FREQUENCY          ;Table_value X Frequency
    movff  PRODH,CCPR2L_TEMP
    bra   UPDATE_PWM3
PWM2_IS_0
    clrf   CCPR2L_TEMP        ;Clear the PWM duty cycle register
    bcf   CCP2CON,4
    bcf   CCP2CON,5
  
```

### 3.3.3 Regulador AC

Un regulador AC (figura 3.11) es un convertidor que, a partir de una corriente alterna a la entrada, produce en la salida también alterna pero con características diferentes, sea de voltaje eficaz, sea de frecuencia o ambas a la vez. Cuando únicamente se altera el valor de la tensión alterna (CA), se llaman reguladores de tensión alterna ó reguladores de potencia alterna.

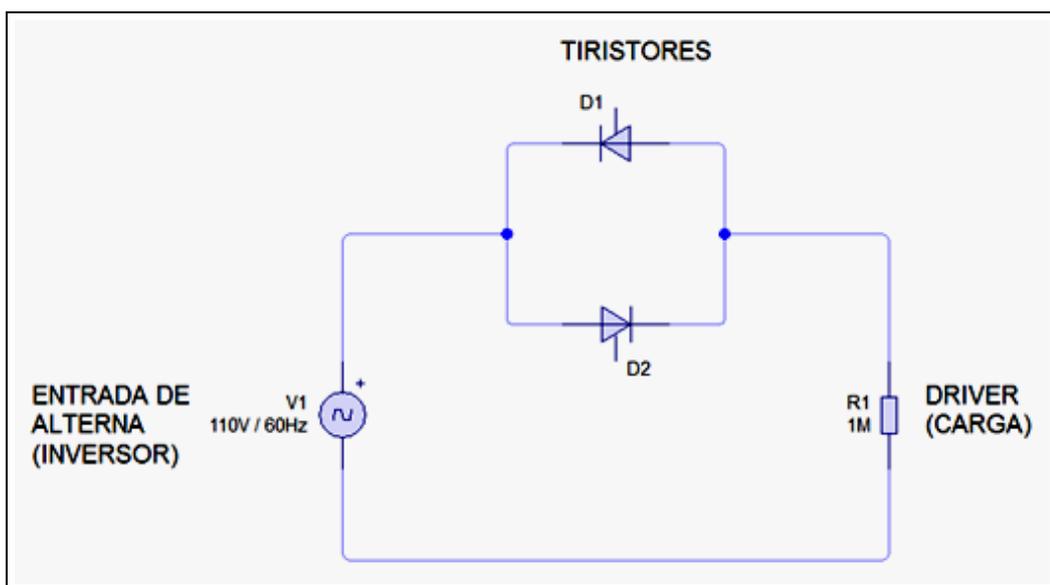
Los reguladores de tensión alterna son convertidores estáticos de energía que permiten variar la potencia entregada a una determinada carga. En el sistema híbrido, la carga es el controlador del motor eléctrico (driver). En general, se controla la potencia mediante el control del valor eficaz de la tensión suministrada a la carga. De ahí el nombre de reguladores ó controladores de tensión alterna.

Figura 3.10. Regulador AC.



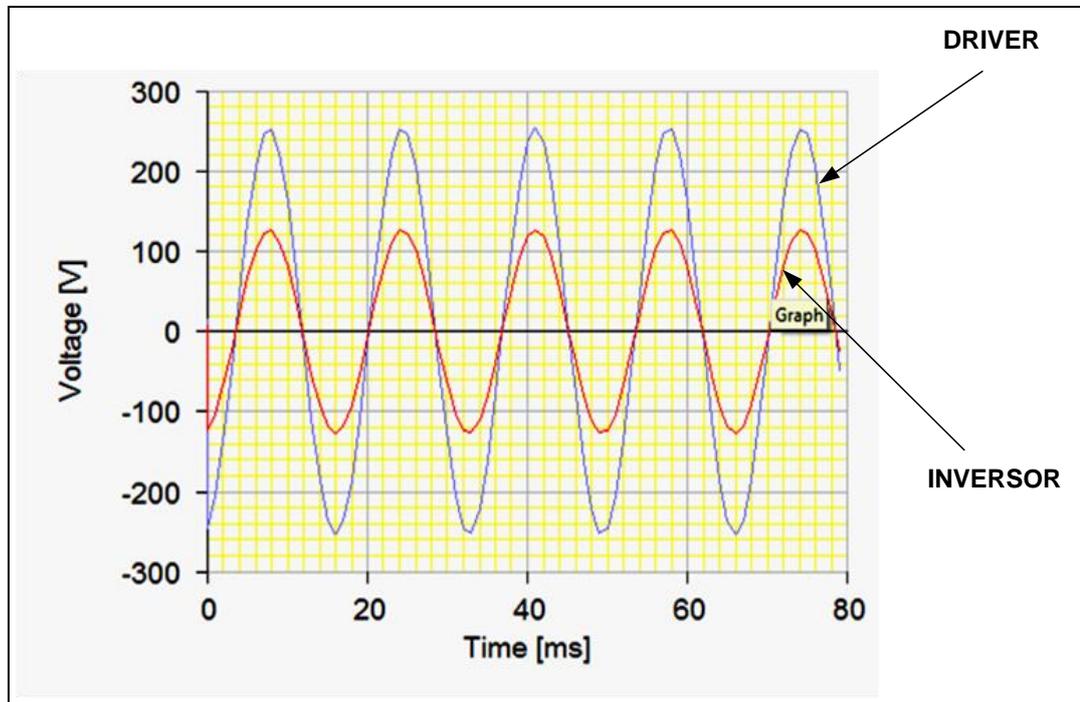
Los dispositivos semiconductores de potencia empleados en tales convertidores son, comúnmente, los tiristores (figura 3.12).

Figura 3.11.Regulador de tensión con tiristores.



En los tiristores, como elementos de control, el disparo se realiza en el paso por cero de la tensión de alimentación. El control electrónico lleva incorporado un detector de paso por cero y un contador de semiperíodos para saber en qué instante se debe disparar cada tiristor (figura 3.13).

Figura 3.12. Simulación de voltajes.



### 3.3.4 Driver (controlador del motor eléctrico)

La velocidad del motor eléctrico trifásico es controlada a través de un equipo electrónico llamado driver. El driver o variador de velocidad es un convertidor de frecuencia con modulación por anchura de pulsos (PWM), ya que la velocidad del motor eléctrico es directamente proporcional a la frecuencia que se le aplica.

El tipo de controlador a utilizarse depende de potencia que tenga el motor eléctrico. El sistema híbrido utiliza un motor eléctrico que posee una potencia de 0.5 HP, por lo que se utilizó un driver SIEMENS - G110CPM110 (figura 3.14) cuyas características son: entrada de 200 – 240V  $\pm$  10%, monofásico AC, 6.2 A. 47 – 63 Hz. Salida de 0 – 230V, trifásico AC, 2.3 A, 0 – 650 HZ. Motor trifásico de 0.5 HP. Rango de temperatura -10 - +50°C.

Figura 3.13. Controlador del motor eléctrico.



El driver se alimenta con una tensión monofásica de 220 VAC, generando en su interior la alimentación trifásica para motor eléctrico; este parámetro es una ventaja importante ya que permite comandar motores trifásicos aún cuando no está disponible la alimentación trifásica.

#### 3.3.4.1 Etapas del variador de velocidad

Un variador de velocidad se compone de dos etapas:

- Etapa de control.
- Etapa de potencia.

La etapa de control contiene los circuitos que realizan el control de la frecuencia y/o el voltaje, enviando pulsos de control al circuito de potencia. Contiene además switches para setear parámetros y se comunica con un panel de visualización. Su bornera posee todas las conexiones de control.

La etapa de potencia se alimenta desde el regulador AC y entrega potencia al motor eléctrico. Contiene además los dispositivos electrónicos de potencia tales como transistores de potencia IGBT, tiristores. Esta etapa permite variar la potencia del motor trifásico de 0.5 HP.

**Nota:** Las dos etapas son placas separadas ya que manejan potencias distintas, debiendo utilizar protecciones separadas.

### 3.3.4.2 Comando y configuración

El comando son las órdenes necesarias para el funcionamiento normal del motor eléctrico trifásico; en el sistema híbrido los comandos utilizados son: la palanca de cambios, que permite la inversión de giro del motor y el arranque del mismo, y el pedal del acelerador que determina el valor de la velocidad del motor eléctrico.

La configuración (figura 3.15) se refiere a la modificación de los parámetros de funcionamiento fijo. El sistema híbrido maneja una velocidad máxima de 1800 rpm y una frecuencia de trabajo de 60 Hz. Además el panel de configuración contiene un LCD (liquid crystal display) que permite la visualización de las variables del equipo.

Figura 3.14. Panel de control del variador de velocidad.  
(Fuente: SINAMICS – G110. [www.support.automation.siemens.com](http://www.support.automation.siemens.com))



### 3.3.4.3 Entrada analógica

El convertidor SINAMICS G110 viene ajustado para controlar motores asíncronos trifásicos de 4 polos. El control de la velocidad del motor se lleva a cabo a través de la entrada analógica de la variante analógica del controlador (figura 3.16). A los puertos 8 (alimentación), 9 (valor óhmico) y 10 (masa), de la variante analógica del controlador llegan los terminales provenientes del sensor potenciométrico instalado en el pedal del acelerador (figura 3.17).

Figura 3.15. Variante analógica (entrada analógica).  
(Fuente: SINAMICS – G110. [www.support.automation.siemens.com](http://www.support.automation.siemens.com))

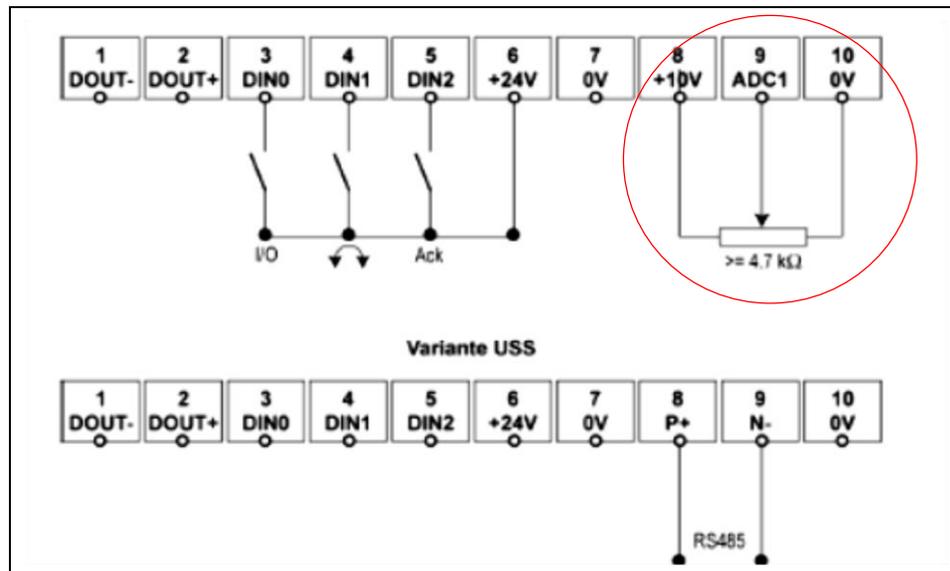
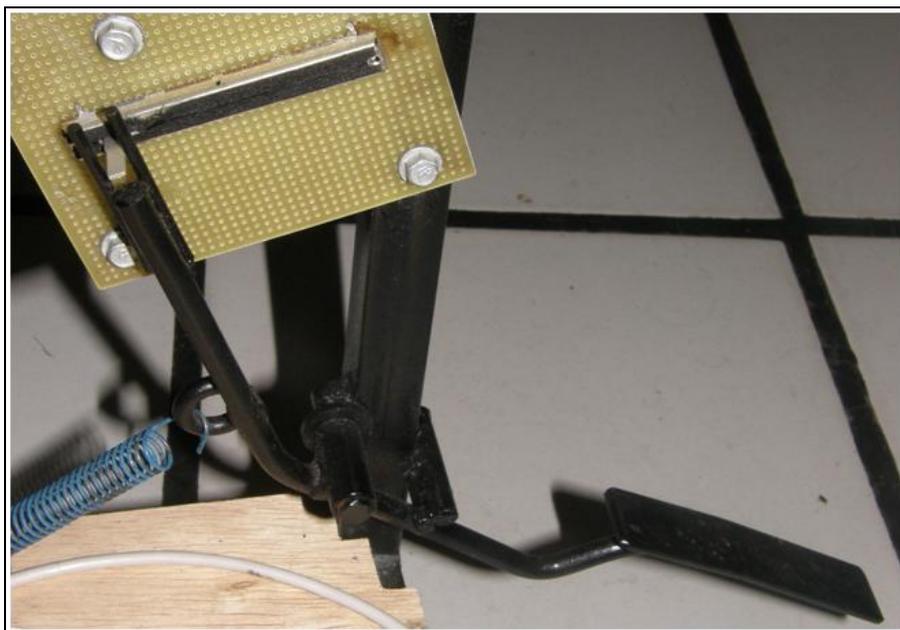


Figura 3.16. Potenciómetro del pedal del acelerador.



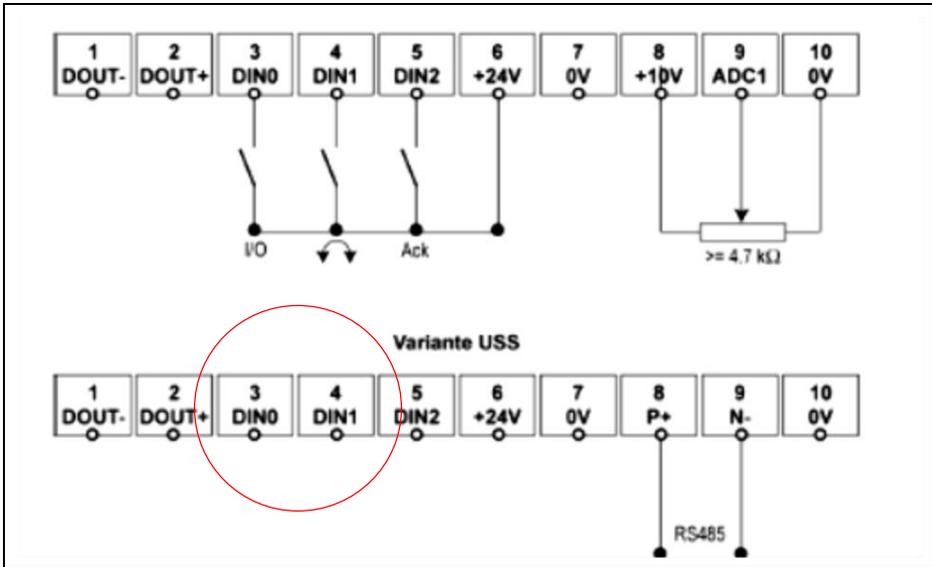
### 3.3.4.4 Control del sentido de giro

El control del sentido de giro del motor trifásico se lo realiza a través de una entrada ON/OFF y una entrada digital (tabla 3.1), en la variante analógica (figura 3.18), del convertidor de velocidad. La entrada ON/OFF controla que el variador de velocidad se encienda; mientras que la entrada digital permite seleccionar el sentido de giro del motor trifásico (horario o antihorario).

Tabla 3.1. Puertos del variador de velocidad.  
(Fuente: SINAMICS – G110. www.support.automation.siemens.com)

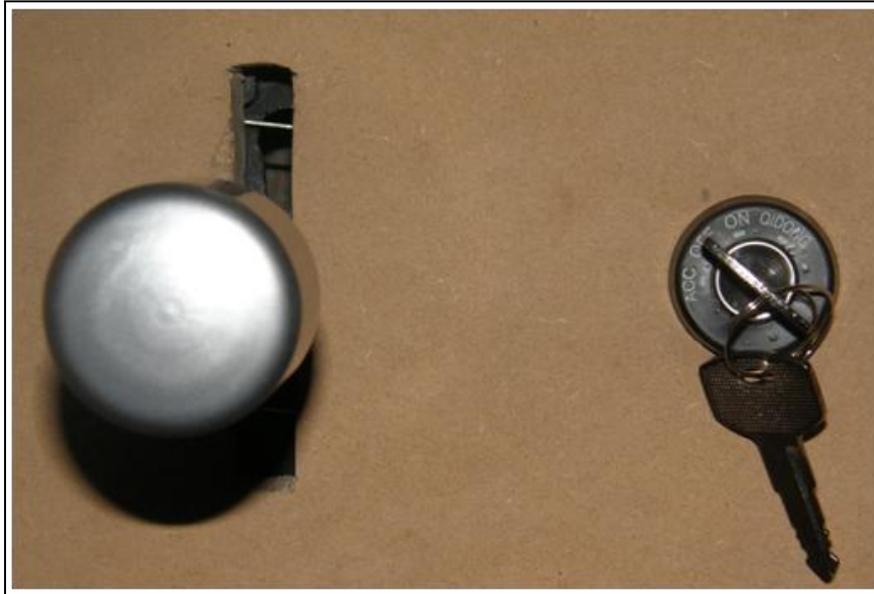
Descripción	Bornes	Parámetros-ajuste de fábrica	Función
Fuente de consig. frecuenc.	9	P1000 = 2	Entrada analógica
Fuente de órdenes	3,4 y 5	P0700 = 2	(véase abajo)
Entrada digital 0	3	P0701 = 1	ON/OFF1
Entrada digital 1	4	P0702 = 12	Inversión de sentido de giro
Entrada digital 2	5	P0703 = 9	Acuse de fallo
Tipos de control via bornes	-	P0727 = 0	Control Siemens estándar

Figura 3.17. Variante analógica (entrada analógica).  
(Fuente: SINAMICS – G110. www.support.automation.siemens.com)



En el sistema híbrido el control y el cambio de estado de las entradas al variador de velocidad lo ejecuta la palanca de cambios (figura 3.19). La palanca de cambios es un accionamiento mecánico, el mismo que en su interior posee contactos eléctricos (fin carrera). Los contactos eléctricos ó fin carreras cumplen la función de un interruptor; es decir, permite cerrar el circuito eléctrico y así cambiar el nivel de voltaje de las entradas (ON/OFF y entrada digital) del variador de velocidad.

Figura 3.18. Palaca de cambios.



### 3.3.4.5 Diagrama de bloques

En el diagrama de bloques (figura 3.20) se puede observar el hardware que posee el driver ó convertidor de velocidad.

### 3.3.5 Motor eléctrico trifásico

El motor eléctrico (figura 3.21) del sistema híbrido se trata de un motor de inducción de caja de ardilla que se usa con alimentación trifásica. El motor de inducción trifásico es también llamado motor asíncrono.

#### 3.3.5.1 Partes principales

Las partes principales que componen un motor de corriente alterna de inducción tipo jaula de ardilla (figura 3.22).

El estator posee los siguientes componentes:

- **Carcasa:** Es la estructura que sirve como soporte del motor, por lo general se construye de hierro fundido acero o aluminio, es resistente a la corrosión y en la mayoría de los casos presentan aletas que permiten un enfriamiento del motor.

- El Núcleo: El núcleo magnético del estator está compuesto de chapas de acero magnético con tratamiento térmico para reducir al mínimo las pérdidas el hierro.
- Devanado: El devanado del estator está compuesto por tres bobinas con iguales características, una por fase formando un sistema trifásico para conectarse al variador de velocidad (driver). El material utilizado es cobre.

Figura 3.19. Diagrama de bloques del variador de velocidad.  
 (Fuente: SINAMICS – G110. [www.support.automation.siemens.com](http://www.support.automation.siemens.com))

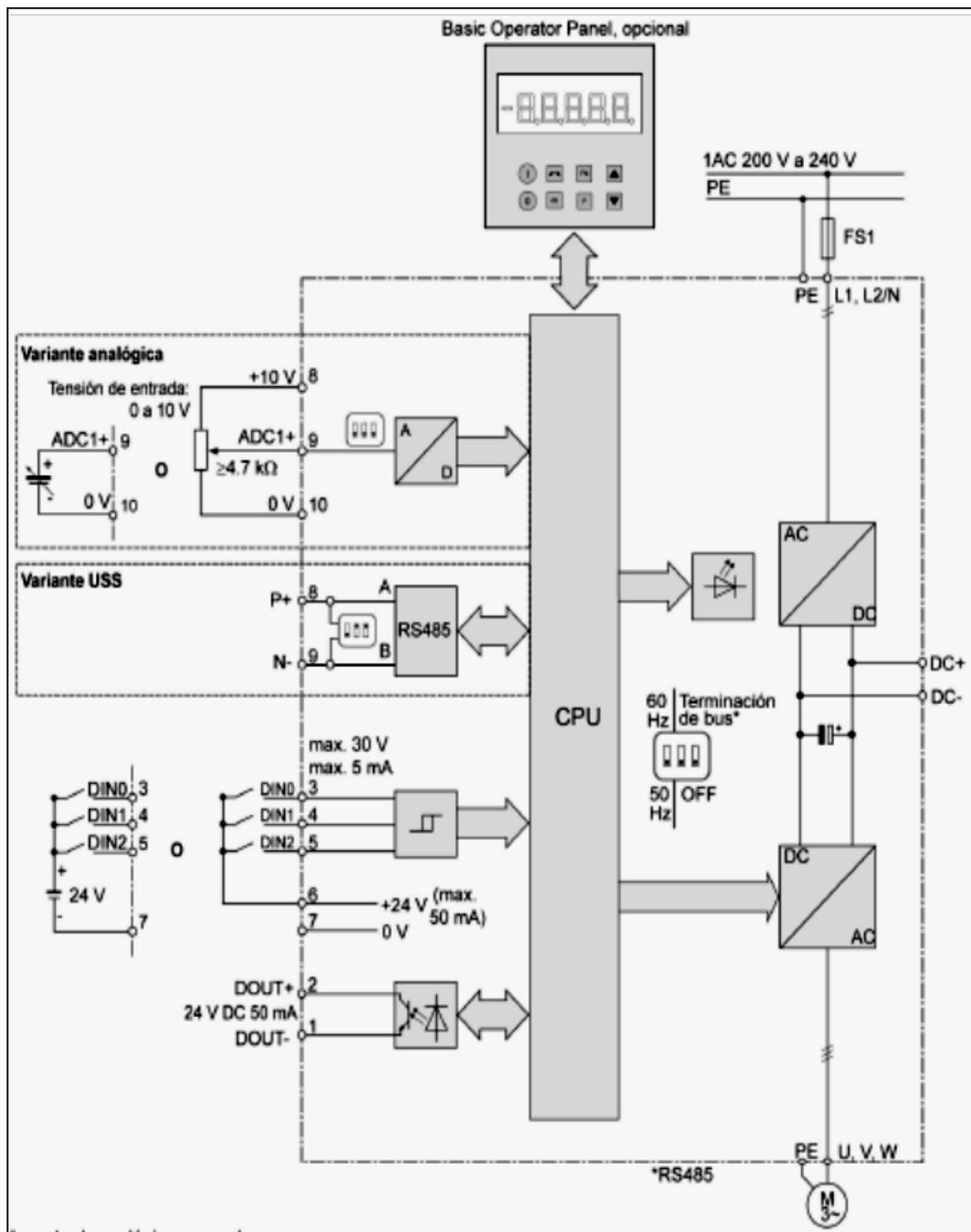


Figura 3.20. Motor eléctrico.

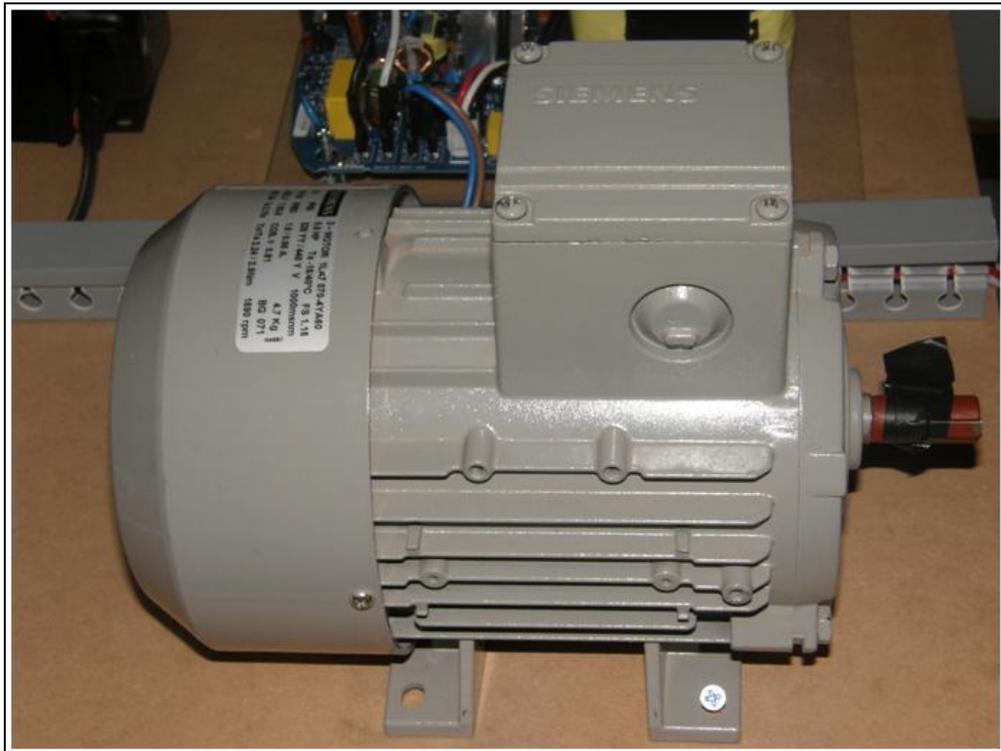
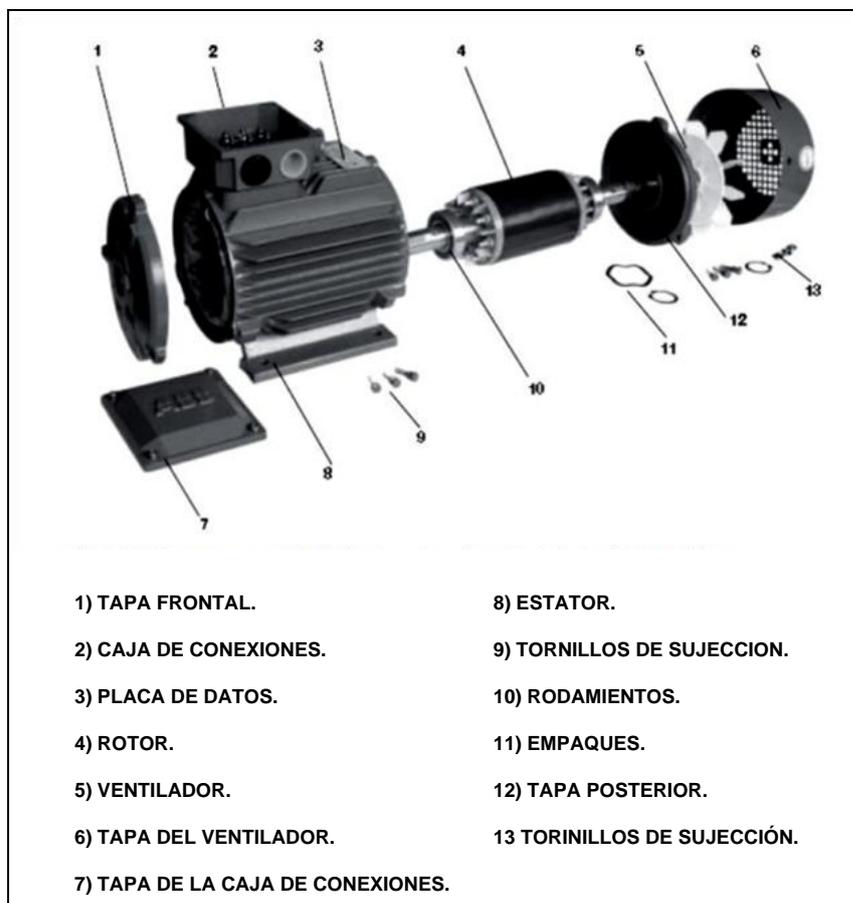


Figura 3.21. Partes del motor de inducción trifásico.  
(Fuente: Motores de inducción trifásicos [www.literature.rockwellautomation.com](http://www.literature.rockwellautomation.com))



El rotor posee los siguientes componentes:

- Eje: El eje del motor también conocido como flecha, es el encargado de transmitir la potencia mecánica desarrollada por motor y recibe un tratamiento térmico para evitar problemas con deformación y fatiga.
- Núcleo de chapas: Estas tienen las mismas características que las del estator.
- Barras y anillos de cortocircuito: estas son fabricadas con aluminio, cobre o bronce y fundidos a presión en una pieza única.

Para que motor gire con menos ruido las ranuras se colocan ligeramente inclinadas respecto al eje del rotor. Las aletas de los anillos terminales y el ventilador colocado al final del eje sirven para impulsar a través del motor el aire necesario para extraer el calor debido a las pérdidas. El eje gira sobre rodamientos de bola de modo que entre el rotor y el estator se obtenga un entrehierro relativamente estrecho.

### 3.3.5.2 Principio de funcionamiento

Como se puede observar en la sección del motor de inducción trifásico (figura 3.23), se compone de un bastidor o estator fijo, un bobinado trifásico alimentado por el variador de velocidad (trifásico) y un rotor giratorio. No hay ninguna conexión eléctrica entre el estator y el rotor.

Figura 3.22. Sección del motor de inducción trifásico.  
(Fuente: Motores de inducción trifásicos. [www.literature.rockwellautomation.com](http://www.literature.rockwellautomation.com))



Las corrientes del rotor se inducen desde el estator a través del entrehierro. Tanto el estator como el rotor están fabricados de una lámina de núcleo altamente magnetizable. El bobinado del estator está formado por tres bobinados individuales que se superponen y están desfasados con un ángulo eléctrico de 120°. Cuando se conecta a la alimentación, la corriente de entrada primero magnetiza el estator. Esta corriente de magnetización genera un campo rotativo.

“En los motores de inducción con rotor de jaula de ardilla, el rotor está formado por un bloque laminar de núcleo de rotor cilíndrico y ranurado provisto de barras de aluminio unidas por delante con anillas para formar una jaula cerrada.”<sup>6</sup>

El motor de inducción parado actúa como un transformador cortocircuitado en el secundario. Por consiguiente, el bobinado del estator corresponde al bobinado principal y el bobinado del rotor (bobinado de jaula), al bobinado secundario. Dado que está en cortocircuito, la corriente interna del rotor depende de la tensión inducida y de su resistencia. La interacción entre el flujo magnético y los conductores de corriente del rotor genera un par de torsión que se corresponde con la rotación del campo rotativo.

### **3.4 Etapa térmica**

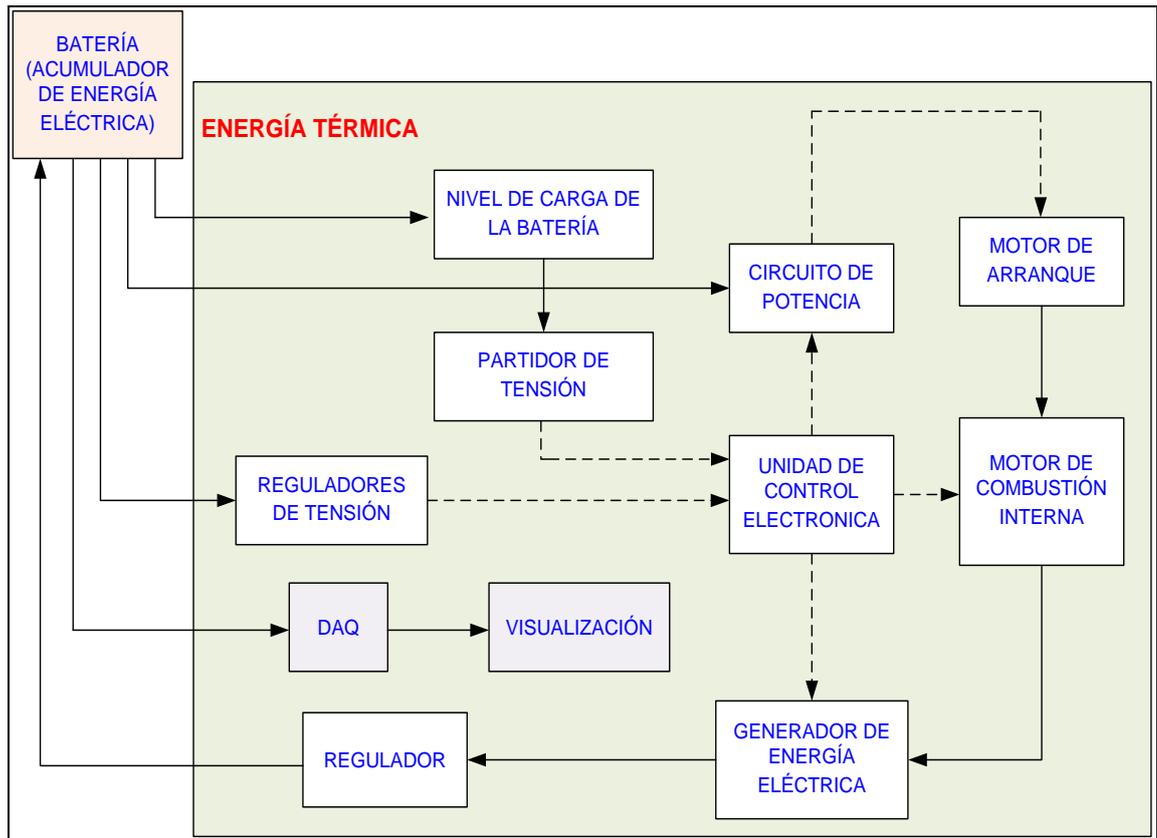
La función que cumple la etapa térmica (figura 3.24) dentro del sistema híbrido es controlar el funcionamiento del motor de combustión interna; es decir, el momento en el que debe encenderse o detenerse, dependiendo del nivel de carga de la batería de alto voltaje.

Cuando el nivel de voltaje de la batería es mínimo, el motor de combustión interna entra en funcionamiento y permite el movimiento del alternador. El alternador cumple la función de generar electricidad, la misma que servirá para cargar la batería de corriente continua. Cuando el nivel de voltaje de la batería llega a su máximo nivel el motor de combustión se detiene, permitiendo de esta manera que el alternador deje de producir energía eléctrica.

---

<sup>6</sup> ROCKWELL AUTOMATION. Motores de inducción trifásicos.  
[www.literature.rockwellautomation.com](http://www.literature.rockwellautomation.com)

Figura 3.23. Etapa de energía térmica.



A continuación se describe los componentes presentes en esta etapa y los procesos necesarios para poder controlar el motor de combustión interna del sistema.

### 3.4.1 Motor de combustión interna

En el sistema híbrido la función que desempeña el motor de combustión interna (figura 3.25) es convertir la energía química, de la explosión de un combustible dentro de la cámara de combustión, en energía mecánica necesaria para mover al generador de electricidad (alternador). El motor de combustión interna que utiliza el sistema híbrido construido es un motor de dos tiempos (figura 3.26).

El motor de combustión interna de dos tiempos, cuenta con las siguientes características: Tipo de 2 tiempos enfriado por aire, cilindrada 63 cm<sup>3</sup>, peso sin combustible 12.7 Kg, capacidad de combustible 2.5 lts, tiempo de funcionamiento 5 horas, nivel de ruido 62dBA.

Figura 3.24. Motor de combustión interna del sistema híbrido.



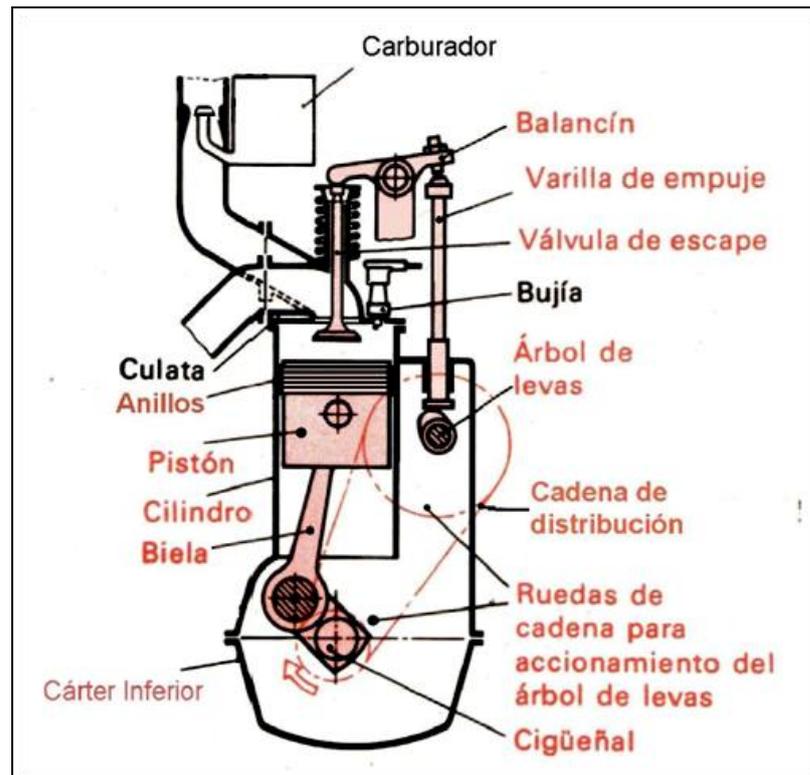
Figura 3.25. Clasificación del motor de combustión interna.



### 3.4.1.1 Principio de funcionamiento

El motor alternativo de combustión interna (figura 3.27) consta básicamente del mecanismo pistón – cilindro. Dentro del cilindro se encuentra el pistón el cual se ajusta a las paredes del cilindro a través unos anillos, los mismos que impiden que los gases lleguen a la parte inferior del cilindro.

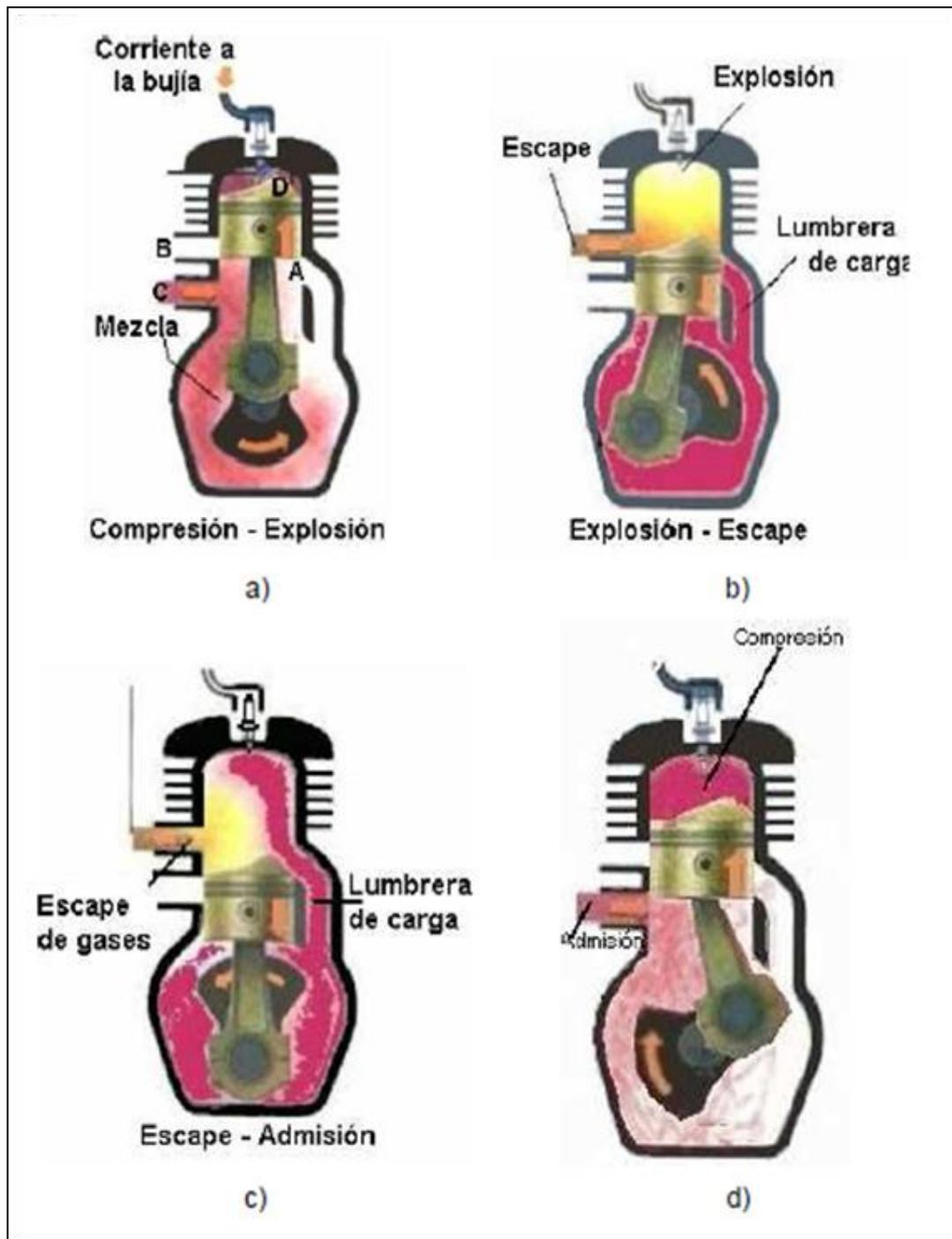
Figura 3.26. Esquema del motor de combustión interna  
(Fuente: GERSCHLER. Tecnología del automóvil)



El elemento pistón se encuentra unido a la biela, la cual tiene como función transmitir la fuerza que produce la explosión del combustible al codo del cigüeñal. El cigüeñal realiza un movimiento circular, mientras que el pistón realiza una trayectoria lineal ascendente y descendente. Con este mecanismo se logra que el combustible se comprima mientras asciende el pistón y que genere trabajo, cuando el pistón desciende, como consecuencia de la explosión de combustible en la cámara de combustión.

En los motores de dos tiempos existen agujeros ubicados en la pared del cilindro, conocidos como lumbreras, y permiten que el ciclo se realice en un solo giro del cigüeñal, por lo que el pistón asciende y desciende una sola vez por todo el ciclo (figura 3.28).

Figura 3.27.Ciclo de trabajo del motor de dos tiempos.  
(Fuente: Motores de dos tiempos. www.autoenciclopedia.com)

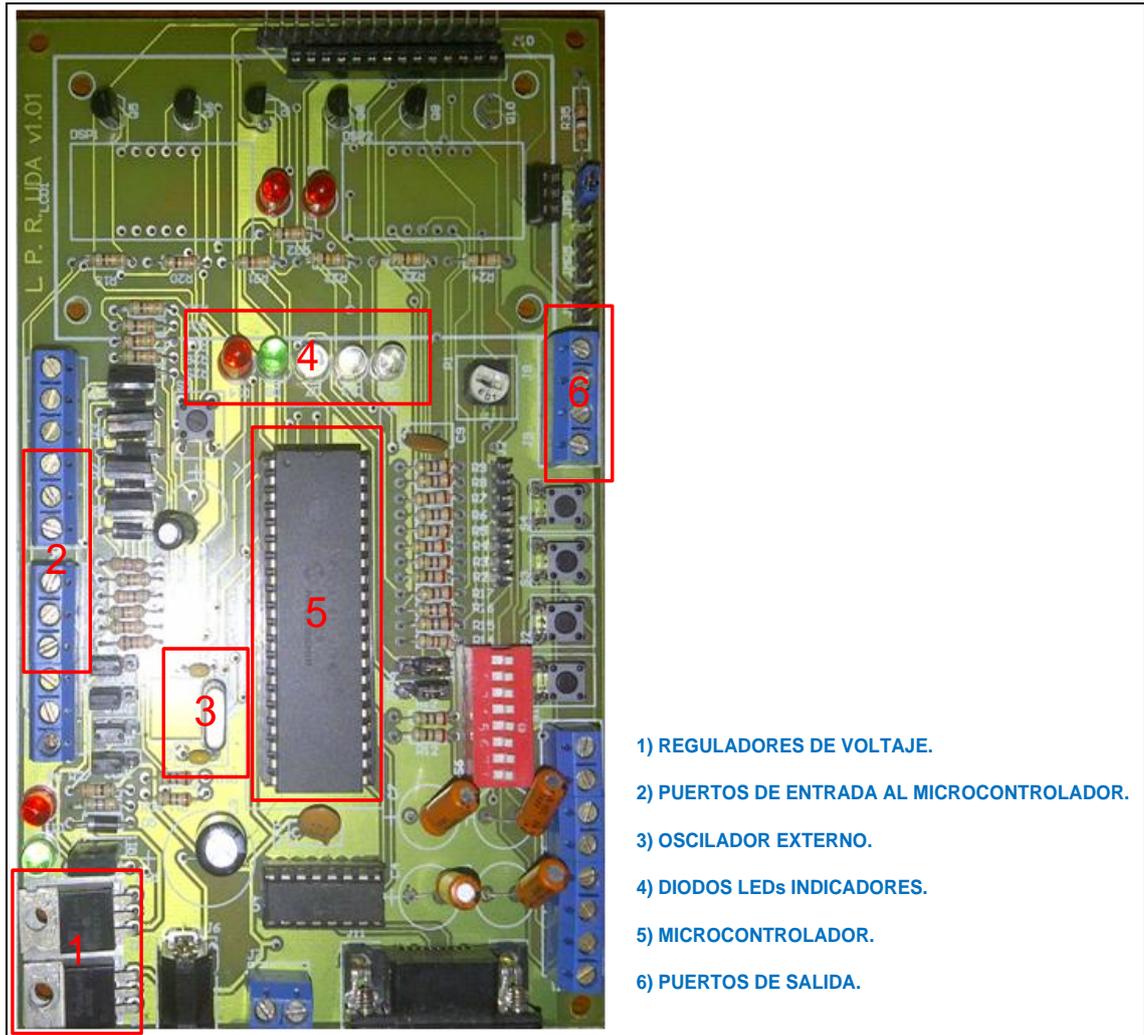


La lumbrera (A) denominada de carga es la que permite el paso de la mezcla pre – comprimida desde el cárter al cilindro. La lumbrera (B) denominada de escape, permite la salida de los gases. La lumbrera (C) de admisión, ubicada debajo de la de escape, permite el ingreso de la mezcla.

### 3.4.2 Unidad de control electrónica del motor de combustión interna

Una de las situaciones críticas del sistema híbrido es controlar el funcionamiento del motor de combustión interna, dependiendo del estado de carga de la batería o acumulador de energía eléctrica. Este control lo realiza la unidad de control electrónica del motor de combustión interna (figura 3.29).

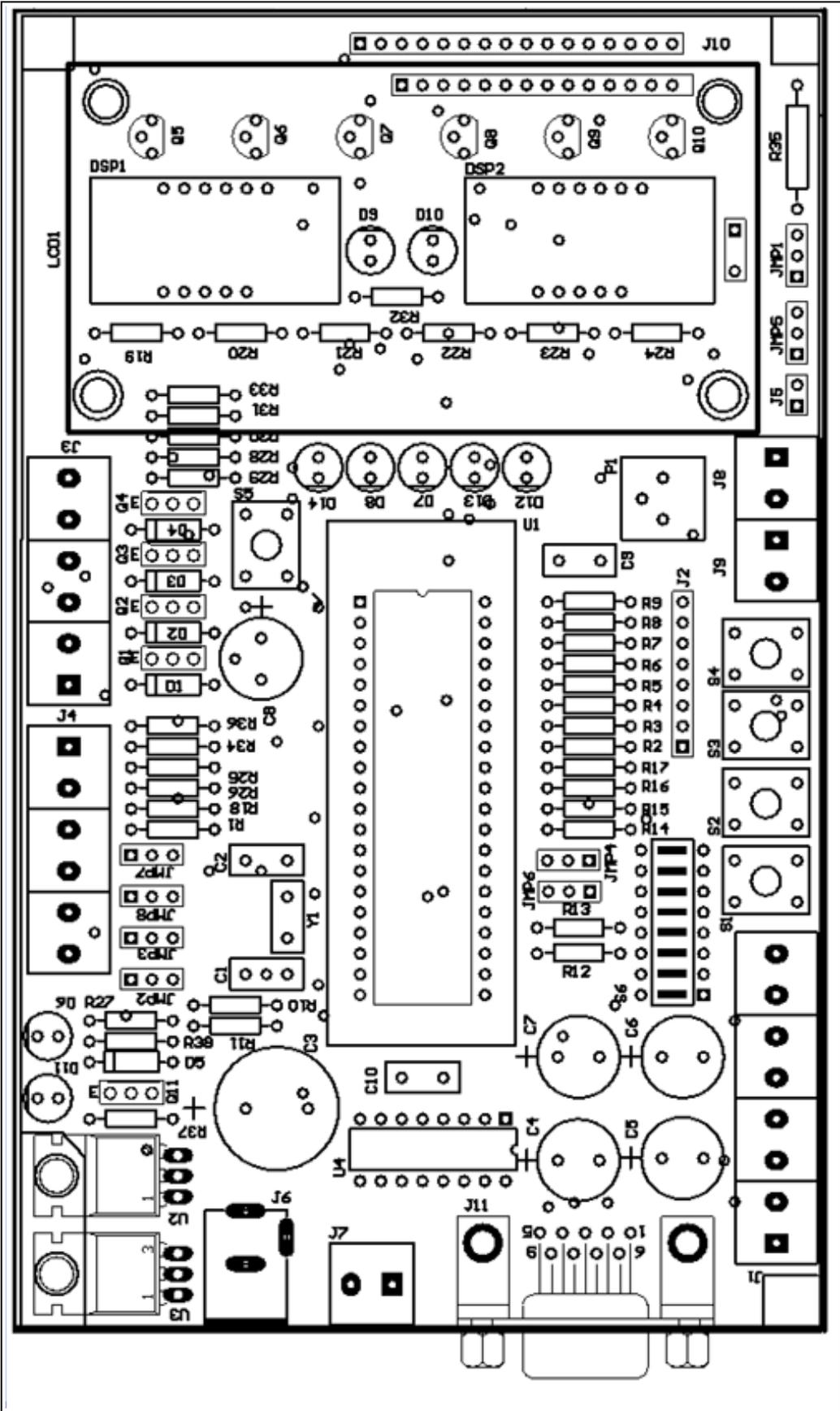
Figura 3.28. Unidad de control electrónica del sistema híbrido.



#### 3.4.2.1 Hardware de la unidad de control electrónica.

El hardware de la unidad de control (figura 3.30) es un PCB (printed circuit board) en donde se efectuará el montaje de los elementos electrónicos necesarios para las etapas de adquisición de datos, procesamiento y activación de actuadores, presentes en la unidad de control electrónica.

Figura 3.29. PCB de la unidad de control electrónica.



### 3.4.2.2 Microcontrolador

Los microcontroladores cuentan con un microprocesador o unidad de procesamiento central, una memoria para almacenar el programa, una memoria para almacenar datos, y puertos de entrada salida. El funcionamiento de los microcontroladores está determinado por el programa almacenado en su memoria. Este puede escribirse en distintos lenguajes de programación, por ejemplo: el programa ensamblador (MPLAB). Los microcontroladores pueden reprogramarse repetidas veces. Por las características mencionadas y su alta flexibilidad, el microcontrolador 16F871 será utilizado como “cerebro” del sistema híbrido – configuración serie y controlará el momento en el que debe funcionar del motor de combustión interna.

### 3.4.2.3 Adquisición del nivel de carga de la batería

Para llevar a cabo un control eficaz sobre el sistema híbrido se hace necesario captar el nivel de carga o de voltaje de la batería. Posteriormente, esos datos hay que analizarlos y procesarlos para la activación de los relés (actuadores), los mismos que se encuentran en la etapa de potencia del sistema.

El nivel carga de la batería (dato) que capta la unidad de control tiene un carácter analógico. Esto implica la utilización de dos procesos para que el microcontrolador pueda efectuar el procesamiento de este dato.

- Convertir el nivel de tensión de la batería (12 VDC aproximadamente) a un nivel de voltaje menor (5 VDC aproximadamente) necesario para que el puerto de entrada analógica del microcontrolador pueda funcionar correctamente.
- La transformación del dato desde el campo analógico al campo digital, sin perder aspectos fundamentales para el proceso que se desea controlar.

### 3.4.2.4 Partidor de tensión

El partidor de tensión (figura 3.31) es un circuito muy utilizado en electrónica, que sirve para alimentar el puerto analógico del microcontrolador con una tensión adecuada (5 VDC aproximadamente).

Las dos resistencias forman un circuito en serie cuya resistencia equivalente es:

$$R_T = R_1 + R_2 \quad (\text{Ec. 3.1})$$

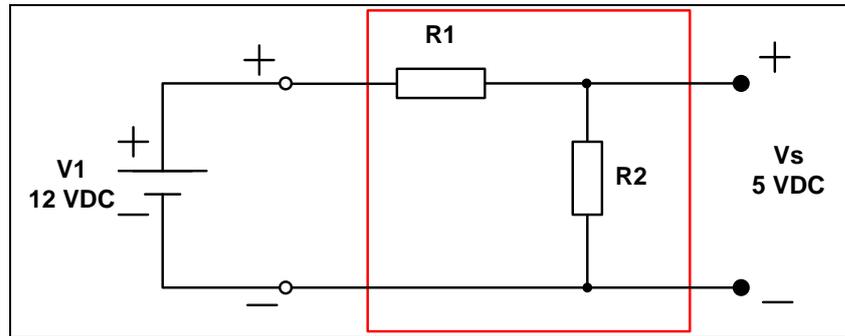
Donde:

$R_T$ : Resistencia equivalente del circuito ( $\Omega$ ).

$R_1$ : Resistencia 1 ( $\Omega$ ).

$R_2$ : Resistencia 2 ( $\Omega$ ).

Figura 3.30. Circuito electrónico del partidor de tensión.



La intensidad de corriente que circula por el circuito es:

$$I = V_1 / R_T \quad (\text{Ec. 3.2})$$

Donde:

$I$ : Intensidad de corriente a través del circuito ( $A$ ).

$V_1$ : Nivel de voltaje en la batería ( $V$ ).

$R_T$ : Resistencia equivalente del circuito ( $\Omega$ ).

Reemplazando la ecuación 3.1 en la ecuación 3.2.

$$I = V_1 / R_1 + R_2 \quad (\text{Ec. 3.3})$$

El nivel de voltaje a la salida del circuito es la caída de tensión en  $R_2$ , por lo tanto:

$$V_S = I \times R_2 \quad (\text{Ec. 3.4})$$

Donde:

$V_s$ : Nivel de voltaje de salida del circuito (V).

I: Intensidad de corriente a través del circuito (A).

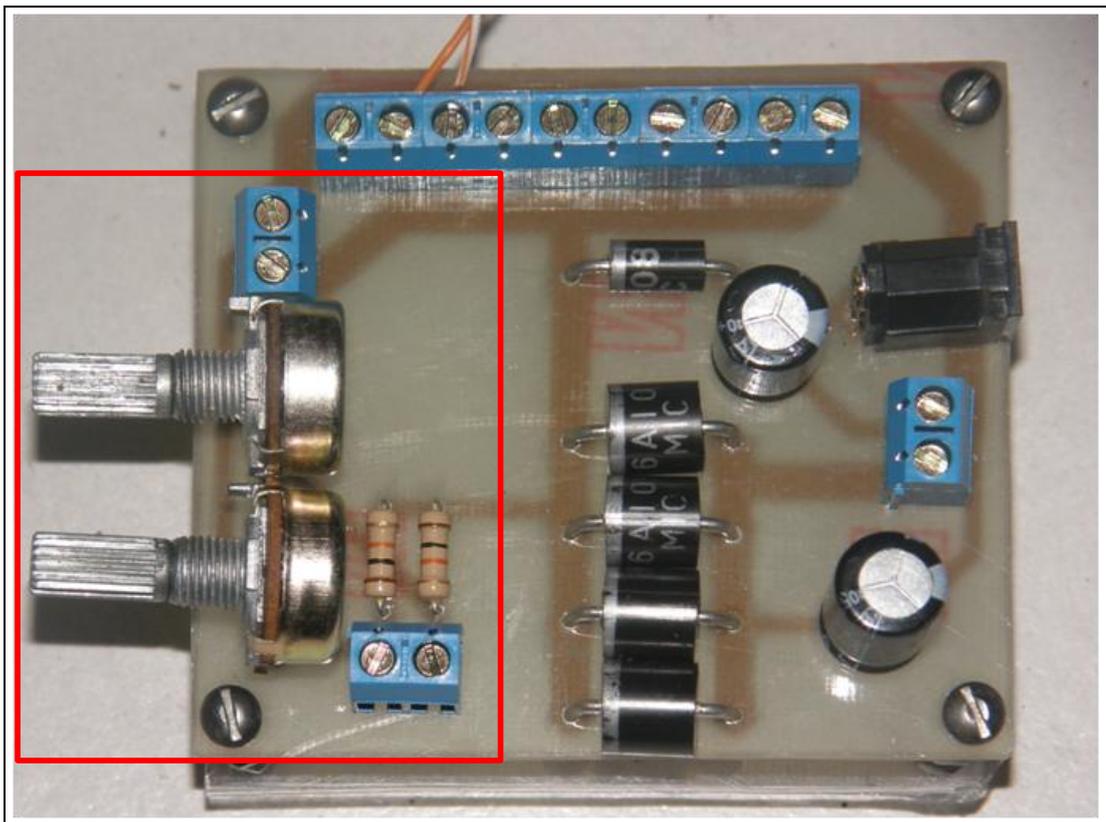
$R_2$ : Resistencia 2 ( $\Omega$ ).

Reemplazando la ecuación 3.3 en la ecuación 3.4.

$$V_s = V_1 \times R_2 / R_1 + R_2 \quad (\text{Ec. 3.5})$$

A partir de la ecuación 3.5 se diseña el partidor de tensión de la batería (figura 3.32).

Figura 3.31. Hardware del partidor de tensión del sistema.



Cuando la batería está completamente cargada posee un nivel voltaje de **12.5 VDC**. Este dato corresponde al valor de voltaje de la batería en la ecuación 3.2 ( $V_1$ ).

El voltaje que se requiere en el puerto de entrada analógica del microcontrolador cuando en la batería se encuentra con un nivel de voltaje de 12.5 VDC, es de **5 VDC**. Este dato corresponde al valor de voltaje a la salida del circuito en la ecuación 3.4 ( $V_s$ ).

Se considera un valor arbitrario de la resistencia 2:

$$R_2 = 5 K\Omega \quad (\text{Ec. 3.6})$$

Despejando la resistencia 1 ( $R_1$ ) de la ecuación 3.5:

$$R_1 = R_2(V_1 - V_s)/V_s \quad (\text{Ec. 3.7})$$

Reemplazando los valores antes mencionados en la ecuación 3.6.

$$R_1 = 5 K\Omega (12.5V - 5V)/5V \quad (\text{Ec. 3.8})$$

Finalmente, el valor de la resistencia 1 ( $R_1$ ) a colocar en el partidor de tensión de la batería:

$$R_1 = 7.5 K\Omega \quad (\text{Ec. 3.9})$$

#### 3.4.2.5 Conversor analógico – digital

El interés en digitalizar la señal de voltaje de la batería surge debido a que es necesario tratar con programas (software) los valores analógicos que entrega el partidor de tensión (figura 3.33). El microcontrolador 16F871 de Microchip es el utilizado para la conversión analógico – digital del sistema híbrido. La señal analógica proveniente del partidor de tensión se envía a través de un cable hacia el puerto de entrada analógica del microcontrolador.

El muestreo de la señal (figura 3.34) implica tomar una muestra de la señal cada (t) segundos ya que no hay memoria suficiente capaz de almacenar los infinitos puntos de una señal en un intervalo cualquiera de tiempo.

Figura 3.32. Conversión analógico – digital.

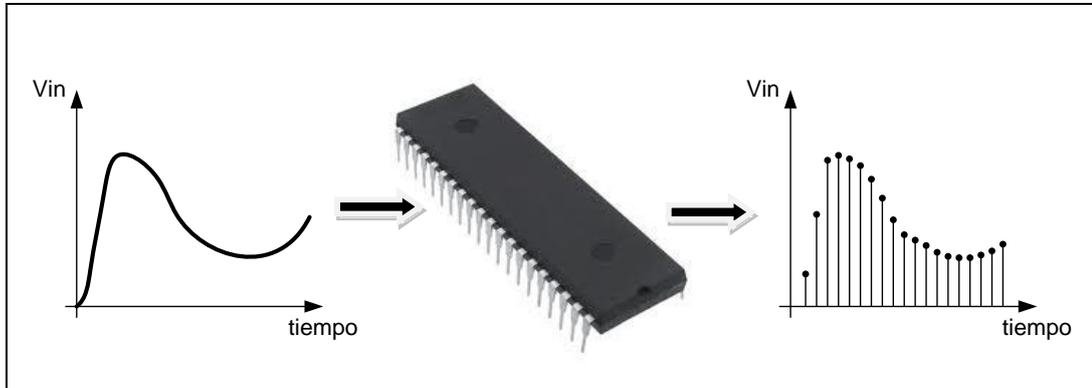
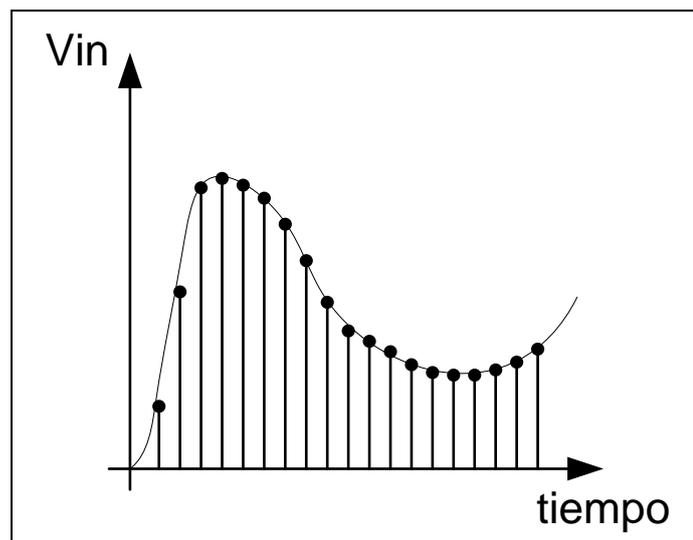


Figura 3.33. Muestreo de la señal digital.



Este proceso de muestreo provoca una pérdida de la forma de la señal original y eso implica que se va a cometer un error de aproximación.

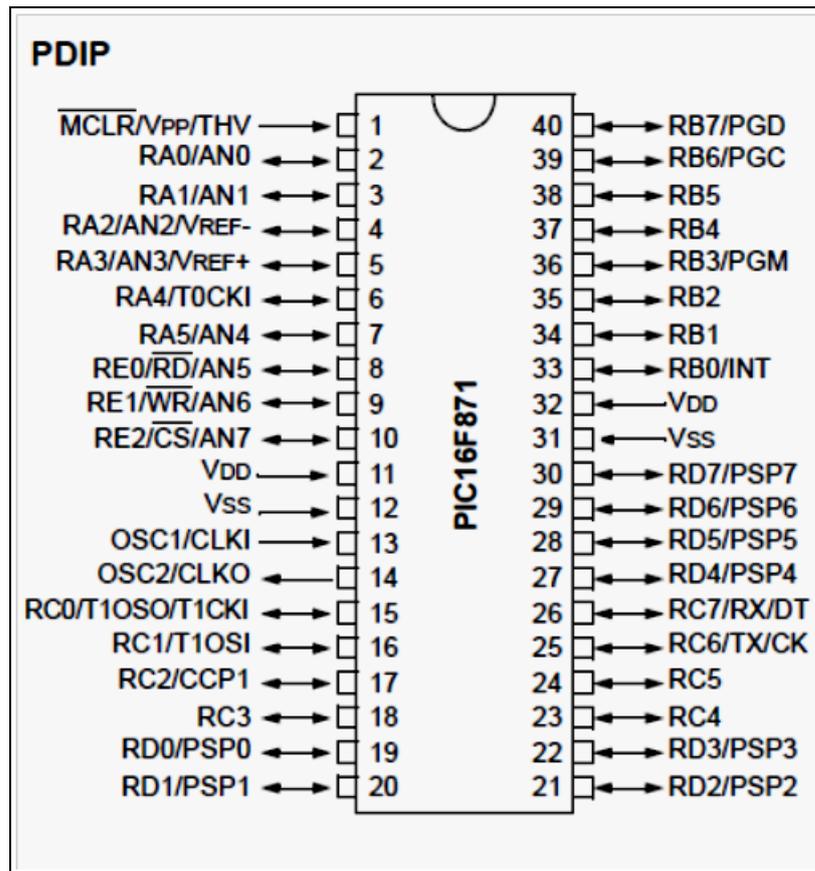
#### 3.4.2.6 Registros del módulo A/D

Para que el microcontrolador (figura 3.35) realice la conversión es necesario configurar algunos registros internos del módulo A/D.

El módulo A/D tiene cuatro registros, que son:

- **ADRESH:** Parte alta del resultado de la conversión.
- **ADRESL:** Parte baja del resultado de la conversión.
- **ADCON0:** Registro de control 0, controla el funcionamiento del conversor.
- **ADCON1:** Registro de control 1, configuración de pines del puerto.

Figura 3.34. Diagrama del microcontrolador 16F871.  
(Fuente: PIC 16F871. www.microchip.com)



- **Registro ADCON0**

El registro ADCON0 (tabla 3.2) controla el funcionamiento del módulo A/D.

Tabla 3.2. Registro ADCON0.  
(Fuente: PIC 16F871. www.microchip.com)

ADCON0 REGISTER (ADDRESS: 1Fh)							
R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0
ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	—	ADON
bit 7						bit 0	

Bit 7 – 6: **ADCS1:ADCS0**: En estos dos bits se hace la selección de la frecuencia de reloj para el convertidor A/D.

00 = FOSC/2

01 = FOSC/8

10 = FOSC/32

11 = FRC (Procede del oscilador RC interno)

Bit 5 – 3: **CHS2:CHS0**: Aquí se selecciona el canal analógico por donde entrará la señal a digitalizar. Este microcontrolador tiene 8 canales de entrada al conversor A/D.

000 = Canal 0, (RA0/AN0)

001 = Canal 1, (RA1/AN1)

010 = Canal 2, (RA2/AN2)

011 = Canal 3, (RA3/AN3)

100 = Canal 4, (RA4/AN4)

101 = Canal 5, (RA5/AN5)

110 = Canal 6, (RA6/AN6)

111 = Canal 7, (RA7/AN7)

Bit 2: **GO/DONE**: Bit de estado de la conversión A/D.

1 = La conversión A/D está en marcha (mientras está a 1 se está realizando la conversión)

0 = La conversión ha finalizado (el bit se pone a cero automáticamente por hardware cuando la conversión A/D finaliza) el resultado de la conversión aparece en ADRESH, ADRESL.

Bit 1: No implementado: Se lee como "0"

Bit 0: **ADON**: Bit de puesta en marcha.

1 = El convertidor A/D está operativo.

0 = El convertidor A/D está apagado y no consume corriente.

La configuración del registro ADCON0 y la subrutina de conversión A/D realizada en el programa MPLAB (figura 3.36).

Figura 3.35. Subrutina de la conversión A/D.

```

101 ;-----
102 ;configuración del registro ADCON0
103 ;-----
104
105     movlw b'10000000'
106     movwf ADCON0
107
108 ;=====
109 ;BLOQUE DE SUBROUTINAS
110 ;=====
111
112 ;subrutina para la conversión A/D
113
114 convierte    bsf ADCON0,0
115              call dem_40us
116              bsf ADCON0,2           ;GO
117 wait_con     btfsc ADCON0,2
118              goto wait_con         ;down
119              ;dato listo
120              bcf ADCON0,0           ;Apago Conversor
121              return
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171

```

- **Registro ADCON1**

El registro ADCON1 (tabla 3.3) es uno de los registros del convertidor A/D, se trata de un registro de configuración de los pines del puerto, este registro se compone de 8 bits.

Tabla 3.3. Registro ADCON1.  
(Fuente: PIC 16F871. www.microchip.com)

U-0	U-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
ADFM	—	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
bit 7							bit 0

Bit 7: **ADFM**: Selecciona el formato del resultado de la conversión A/D.

- 1 = Pone en el registro ARDESH los seis bits de mayor peso a "0"
- 0 = Pone los 6 bits de menor peso del registro ADRESL a "0"

Bit 6 – 4: No implementados: Se leen como cero.

Bit 3-0: **PCFG3:PCFG0**: Bits de configuración de los canales de entrada del convertidor A/D. Se utilizan para configurar los puertos como E/S digital o como entrada analógica (tabla 3.4):

Tabla 3.4. Configuración de los puertos como E/S.  
(Fuente: PIC 16F871. www.microchip.com)

PCFG3: PCFG0	AN7 <sup>(1)</sup> RE2	AN6 <sup>(1)</sup> RE1	AN5 <sup>(1)</sup> RE0	AN4 RA5	AN3 RA3	AN2 RA2	AN1 RA1	AN0 RA0	VREF+	VREF-	CHAN/ Refs <sup>(2)</sup>
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	8/0
0001	A	A	A	A	VREF+	A	A	A	RA3	VSS	7/1
0010	D	D	D	A	A	A	A	A	VDD	VSS	5/0
0011	D	D	D	A	VREF+	A	A	A	RA3	VSS	4/1
0100	D	D	D	D	A	D	A	A	VDD	VSS	3/0
0101	D	D	D	D	VREF+	D	A	A	RA3	VSS	2/1
011x	D	D	D	D	D	D	D	D	VDD	VSS	0/0
1000	A	A	A	A	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	6/2
1001	D	D	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	6/0
1010	D	D	A	A	VREF+	A	A	A	RA3	VSS	5/1
1011	D	D	A	A	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	4/2
1100	D	D	D	A	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	3/2
1101	D	D	D	D	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	2/2
1110	D	D	D	D	D	D	D	A	VDD	VSS	1/0
1111	D	D	D	D	VREF+	VREF-	D	A	RA3	RA2	1/2

A = Analog input    D = Digital I/O

La configuración del registro ADCON1 realizada en el programa MPLAB (figura 3.37).

Figura 3.36. Configuración del registro ADCON1.

```

90 ;-----
91 ;configuración del registro ADCON1
92 ;-----
93     movlw b'00001110' ;RA0 analógico
94     movwf ADCON1      ;justificado a la izquierda

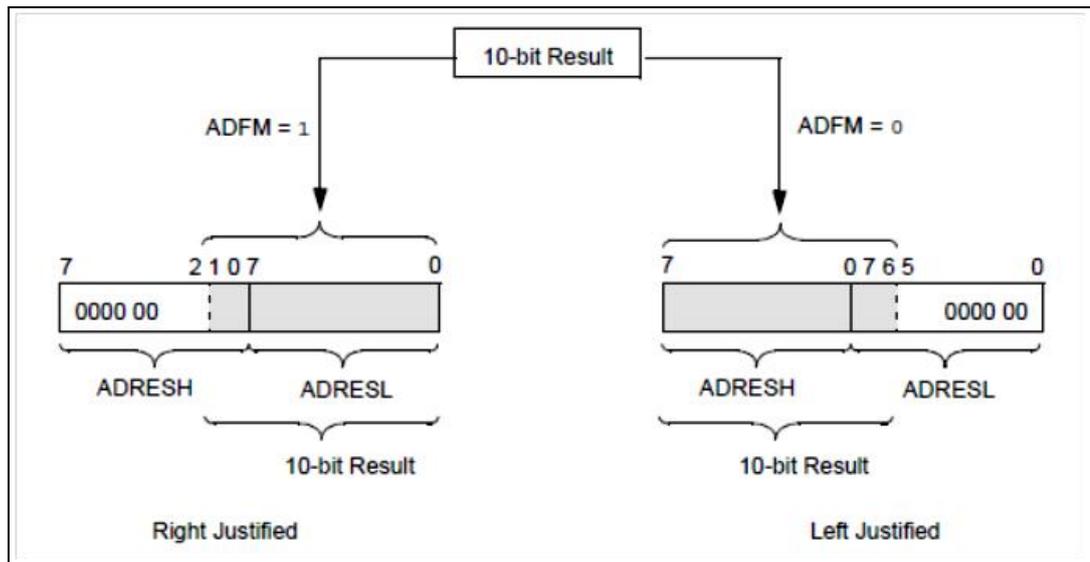
```

- **Registros ADRESH y ADRESL**

El par de registros **ADRESH**, **ADRESL** (figura 3.38) se carga con el resultado de 10 bits de la conversión A/D. Este par de registros se extienden hasta 16 bits. El módulo A/D tiene la posibilidad de justificar el resultado de 10 bits dentro de los 16 bits de la pareja de registros.

La selección del formato de justificación a la izquierda o derecha se realiza con el bit **ADFM (ADCON1)**. Los bits restantes (a los 10 de la conversión) se llenan con ceros. Cuando se completa la conversión A/D, el resultado se guarda en los registros y se pone a cero el bit **GO/DONE**.

Figura 3.37. Registros ADRESH y ADRESL.  
(Fuente: PIC 16F871. www.microchip.com)



El resultado cargado de la conversión A/D en los registros ADRESH y ADRESL y la subrutina de comparación con los valores de voltaje para el accionamiento del motor de combustión interna, realizada en el programa MPLAB (figura 3.39).

Figura 3.38. Resultado de la conversión A/D.

```

172 ;subrutina Actualiza el ciclo util
173
174 act_cu      movf ADRESH,w
175            movwf CCPR1L
176            return
177
178 compara    movf ADRESH,w
179            movwf guarda
180            movf guarda,w
181            sublw 0xCA
182            btfsc 3,0
183            goto activa
184            movf guarda,w
185            sublw 0xFA
186            btfsc 3,0
187            return
188

```

### 3.4.2.7 Procesamiento de datos

El desarrollo del programa para el control del funcionamiento del motor de combustión interna del sistema híbrido – configuración serie se lo realiza por medio del software llamado: MPLAP V8.86.

MPLAB es un ambiente de desarrollo integrado (IDE, por sus siglas en inglés) creado por Microchip para dar soporte a la realización de proyectos basados en microcontroladores. Incluye varios módulos que permiten llevar a cabo las etapas de edición y programación.

- **Edición del programa**

La edición del programa posee varias etapas, las cuales se describen a continuación:

- Declaración de variables (figura 3.40): Contiene todas las variables necesarias para guardar datos del convertidor A/D, contadores en las subrutinas de demoras, datos temporales, etc. Estas variables se ubican en la memoria disponible en los diferentes bancos del microcontrolador.

Figura 3.39. Zona de declaración de variables.

```

6      ;=====
7      ;=====
8      ;ZONA DE DECLARACIÓN DE VARIABLES
9      ;=====
10
11     N = 0x20
12     M = 0x21
13     cont1 = 0x22
14     cont2 = 0x23
15     cont3 = 0x24
16     index = 0x25
17     size = 0x26
18     ch_cont = 0x27 ;cntador de caracteres para cartel
19     temp = 0x28
20     guarda = 0x29
21     bandera = 0x2A
22     rs = 4

```

- Configuraciones iniciales (figura 3.41): En este bloque se realizan todas las configuraciones necesarias para: la adquisición de datos, las interrupciones y puertos de entrada/salida.
- Programa principal (figura 3.42): En el programa principal se llaman a todas las subrutinas necesarias para lograr realizar: la conversión A/D, la actualización del ciclo útil (PWM), la visualización de los datos, la comparación del dato adquirido y demoras.

Figura 3.40. Configuraciones iniciales.

```

70 ;-----
71 ;definicion de E/S
72 ;modifica los registros TRIS (banco 1 de la RAM)
73
74         bsf 3,5           ;banco 1
75         clrf 8
76         bcf 7,0           ;salida
77         bsf 5,0           ;entrada
78         bcf 5,1           ;salida
79         bcf 5,4           ;salida
80         bcf 7,2           ;RC2 salida
81         bcf 7,1           ;RC1 salida
82
83
84 ;-----
85 ;Parámetros PWM
86 ;-----
87         movlw d'249'
88         movwf PR2         ;frecuencia PWM = 1Khz
89
90 ;-----
91 ;configuración del registro ADCON1
92 ;-----
93         movlw b'00001110' ;RA0 analógico
94         movwf ADCON1      ;justificado a la izquierda
95
96 ;configuración del TMR2
97 ;-----
98         bcf 3,5           ;banco 0
99         movlw b'00000010'
100        movwf T2CON
101
102 ;configuración del registro ADCON0
103 ;-----
104
105        movlw b'10000000'
106        movwf ADCON0

```

Figura 3.41. Programa principal.

```

139 ;-----
140 ;ENCIENDE TIMER
141 ;-----
142
143         bsf T2CON,2
144         bcf PORTC,1
145         bsf PORTA,1
146         clrf bandera
147
148 ;CONVERTIR
149
150        again    call convierte
151                call act_cu
152                call visualiza
153                call compara
154                call dem_100ms
155                goto again

```

- Bloque de subrutinas: Aquí se encuentran las subrutinas para el procesamiento de datos que realiza el microcontrolador, las mismas que se detallan a continuación:
  - Conversión A/D (figura 3.43): Transforma la señal analógica proveniente del partidor de tensión hasta el microcontrolador a través del puerto de entrada A/D. El resultado de la conversión se guarda en el registro ADRESH.

Figura 3.42. Conversión A/D.

```

157 ;=====
158 ;BLOQUE DE SUBRUTINAS
159 ;=====
160
161 ;subrutina para la conversión A/D
162
163 convierte    bsf  ADCON0,0
164             call dem_40us
165             bsf  ADCON0,2           ;GO
166 wait_con    btfsc ADCON0,2
167             goto wait_con         ;down
168             ;dato listo
169             bcf  ADCON0,0         ;Apago Conversor
170             return
171

```

- Actualización del ciclo útil (figura 3.44): El resultado de la conversión A/D se envía al registro CCPR1L (PWM) para cambiar el nivel de intensidad del indicador (diodo led) dependiendo del valor de tensión en el partidor.

Figura 3.43. Actualización del ciclo útil.

```

172 ;subrutina Actualiza el ciclo util
173
174 act_cu      movf ADRESH,w
175             movwf CCPR1L
176             return
177

```

- Visualización del dato: El resultado de la conversión A/D se visualiza a través de un LCD (liquid crystal display). Para lograr observar el cambio de datos en tiempo real de la conversión A/D es necesario inicializar el LCD (figura 3.45) y ejecutar la subrutina de variación de datos (figura 3.46).

Figura 3.44. Visualización de la conversión A/D.

```

215  visualiza
216      ;PARA EL CARTEL CU:
217      ;parte baja
218      movf ADRESH,w
219      andlw b'00001111'
220      movwf temp
221      movlw 0x84
222      call dato
223
224      ;parte alta
225      swapf ADRESH,w
226      andlw b'00001111'
227      movwf temp
228      movlw 0x83
229      call dato
230
231      ;PARA EL CARTEL RS:
232      ;parte baja
233      movf ADRESH,w
234      andlw b'00001111'
235      movwf temp
236      movlw 0xC4
237      call dato
238
239      ;parte alta
240      swapf ADRESH,w
241      andlw b'00001111'
242      movwf temp
243      movlw 0xC3
244      call dato
245      return
246
247  dato
248      call chdir
249      movf temp,w
250      call ascii
251      movwf PORTD
252      call enable
253      call dem_40us
254      return

```

Figura 3.45. Inicialización del LCD.

```

257 ;*****
258 ;SUBROUTINAS DE CONTROL LCD
259 ;*****
260 ;*****
261 ;inicia display
262
263 ini_lcd   bcf PORTC,e           ;Rs = 1 (Modo Comando)
264          bcf PORTA,rs         ;RS = 0 (Modo de Instrucciones)
265
266          ;INICIO DE LA SECUENCIA DE RESET DEL CRISTAL
267
268          call dem_5ms         ;demora de power UP
269          movlw 0x38
270          movwf PORTD
271          call enable         ;enable
272          call dem_40us
273
274          ;Modo de transferencia de Datos: 8 bits
275          ;Display en 2 líneas
276          ;Matriz de 5x7 puntos
277
278          movlw 0x38           ;function set = 38h
279          movwf PORTD
280          call enable         ;pulso de habilitación
281          call dem_40us
282
283          ;*****
284          ;DISPLAY ON/OFF CONTROL
285          ;*****
286          ;display ON
287          ;cursor ON
288          ;cursor parpadea
289
290          movlw 0x0e           ;display ON/OFF control = 0ch
291          movwf PORTD
292          call enable         ;pulso de habilitación
293          call dem_40us
294          ;*****
295          ;ENTRY MODE SET INST
296          ;*****
297          ;La posición del cursor se incrementa (direcciones de la DD RAM)
298          ;No desplazar el Dato
299
300          movlw 6               ;entry mode set = 6
301          movwf PORTD
302          call enable         ;pulso de habilitación
303          call dem_40us
304
305          ;*****
306          ;DISPLAY CLEAR
307          ;*****
308          ;limpia la RAM de display y pone el cursor en la posición cero
309
310          movlw 1               ;display clear = 1
311          movwf PORTD
312          call enable         ;pulso de lus en "E"
313          call dem_1640us
314
315          ;*****
316          ;RAM A LA 80H
317          ;*****
318          ;limpia la RAM de display y pone el cursor en la posición cero
319
320          movlw 0x80           ;display clear = 1
321          movwf PORTD
322          call enable         ;pulso de lus en "E"
323          call dem_40us
324          bsf PORTA,rs         ;modo datos
325          return
326
327

```

- Comparación del dato adquirido (figura 4.47): Una vez que el microcontrolador adquiere el dato analógico (voltaje de la batería) por medio del conversor A/D, es necesario procesar esa información para poder activar o desactivar los actuadores respectivos (motor de combustión interna). Para controlar el motor de combustión interna se debe comparar los límites mínimos admisibles (4.46 V) y los máximos permitidos (5V), a la salida del partidor. En el caso de que el voltaje de la batería sea mínimo el microcontrolador envía un pulso hacia el motor de arranque, permitiendo así que el motor de combustión interna encienda, y por lo tanto cargar la batería. Caso contrario, si el voltaje de la batería se encuentra en su máximo nivel, el microcontrolador envía un pulso a otro relé de control, el mismo que permite detener la energía hacia la bobina de encendido del motor de combustión interna, logrando así que éste se apague.

Figura 3.46. Comparación de límites y activación de puertos.

```

178      compara      movf ADRESH,w
179                      movwf guarda
180                      movf guarda,w
181                      sublw 0xCA
182                      btfsc 3,0
183                      goto activa
184                      movf guarda,w
185                      sublw 0xFA
186                      btfsc 3,0
187                      return
188
189      desactiva    bcf PORTA,1
190                      bcf bandera,0
191                      return
192
193
194      activa       btfsc bandera,0
195                      return
196                      bsf PORTA,1
197                      call dem_1s
198                      call dem_1s
199                      call dem_1s
200                      bsf PORTC,1
201                      call dem_1s
202                      call dem_1s
203                      call dem_1s
204                      call dem_1s
205                      call dem_1s
206                      bcf PORTC,1
207                      bsf bandera,0
208                      return
209

```

- Bloque de demoras (figura 4.48): Estas subrutinas proveen de un tiempo adicional o de retardos para ciertos procesos del microcontrolador.

Figura 3.47. Subrutina de demoras.

```

460      demora      ;return
461              movf      N,w
462              movwf     cont1
463              movwf     cont2
464              movf      M,w
465              movwf     cont3
466      loop       decfsz   cont1
467              goto     loop
468              movf      N,w
469              movwf     cont1
470              decfsz   cont2
471              goto     loop
472              movf      N,w
473              movwf     cont2
474              decfsz   cont3
475              goto     loop
476              return   ;fin de subrutina retorna

```

### 3.4.2.8 Programación

La programación se refiere a trasladar la edición del programa, que se realizó en MPLAB V 8.86, hacia el microcontrolador 16F871; para este propósito es necesario disponer de un programador llamado PICKIT 3 (figura 4.49).

Figura 3.48. Programador PICKIT 3.

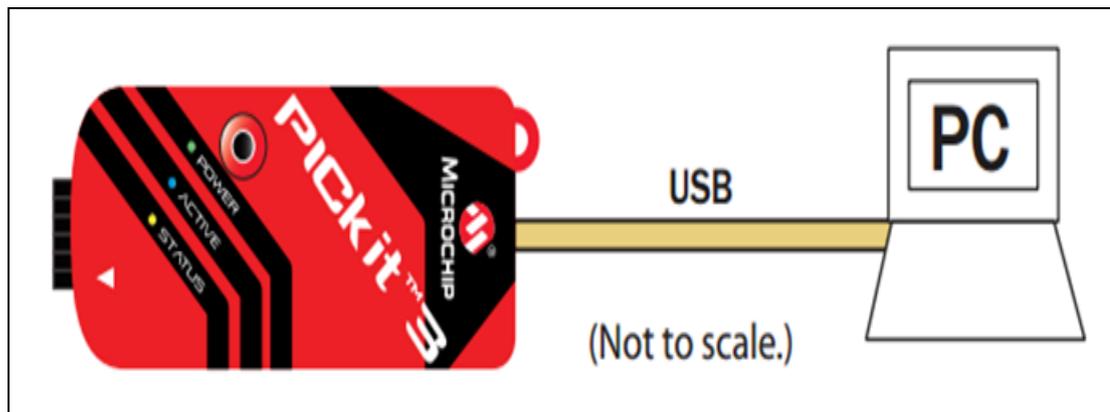


El PICKIT 3 es un programador fabricado por Microchip para programar toda su línea de microcontroladores PIC. Fue diseñado para programar los microcontroladores en circuito (ICSP) lo que significa que puede programar los microcontroladores montados directamente en cualquier aplicación y/o protoboard sin necesidad de tener que sacarlo y meterlo cada vez que se modifica el programa.

Los pasos para usar el PICKIT 3 son los siguientes:

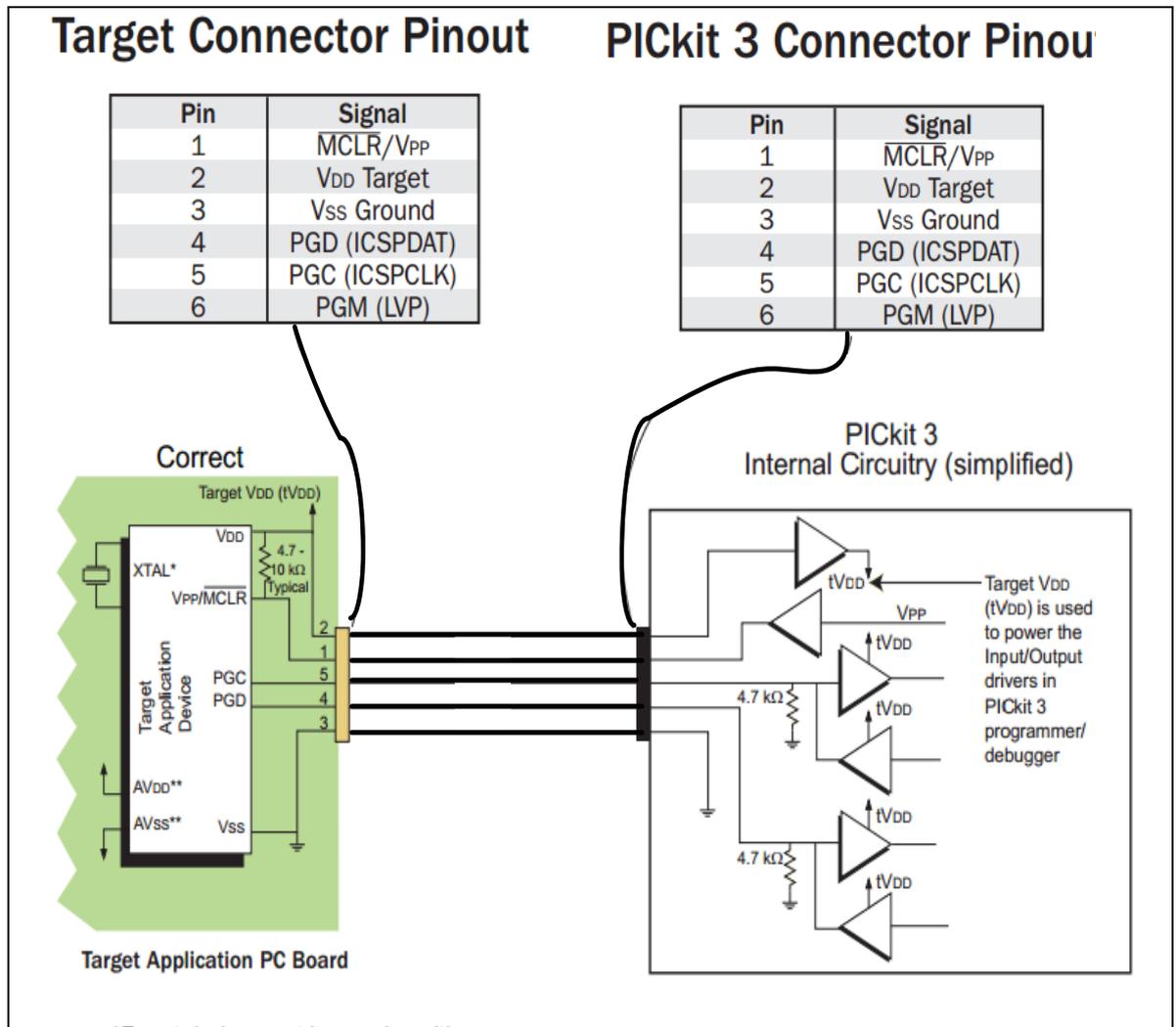
1. Se instala el software más reciente de MPLAB IDE en nuestra PC, el mismo que descarga de la página de la microchip ([www.microchip.com/MPLAB](http://www.microchip.com/MPLAB)).
2. Se configura el puerto de comunicación USB de la PC (figura 3.50), para esto es necesario conectar el programador PICKIT 3 a la PC a través del cable USB y automáticamente se configura.

Figura 3.49. Configuración del programador PICKIT 3 con la PC.  
(Fuente: DeviceDoc. [www.microchip.com](http://www.microchip.com))



3. Se construye un circuito para poder conectar el microcontrolador al programador PICKIT 3 a través del siguiente esquema electrónico (figura 3.51).
4. Finalmente, se programa el dispositivo (PIC 16F871) por medio del puerto USB de la PC y el PICKIT 3.

Figura 3.50. Circuitería y pines de salida del PICKIT 3.  
(Fuente: DeviceDoc. www.microchip.com)



### 3.4.2.9 Accionamiento del motor de combustión

El accionamiento y control del motor de combustión interna lo ejecuta el microcontrolador a través de sus dos puertos (RA0 y RC0), configurados como salida.

Los niveles de corriente que entrega el microcontrolador son menores a 1A, lo cual es una corriente muy pequeña como para poder activar o desactivar los relés de control del motor de combustión interna. Se requiere de una etapa de potencia (figura 3.52), en donde el objetivo principal es la de amplificar la corriente de salida del microcontrolador para así poder controlar el relé motor de arranque y el relé de la bobina de encendido del motor de combustión interna.

Figura 3.51. Etapa de potencia.



El circuito de potencia esta formado por las siguientes etapas electrónicas:

**Regulación:** La función que desempeña la etapa de regulación (figura 3.53) dentro del circuito de potencia es la suministrar niveles de tensión constantes, independientemente de las variaciones de energía (picos de voltaje) que pueda generarse en la alimentación (batería). Para esto se emplea reguladores de voltaje electrónicos como el 7812 y el 7805 los cuales estabilizan a 12V y 5 V, respectivamente.

**Amplificación de corriente:** Para amplificar (aumentar) la corriente que provee el microcontrolador a niveles óptimos necesarios para control de los actuadores. Por ejemplo: el motor de arranque del motor de combustión interna y el relé de control de la bobina de encendido, para esto se diseñó un circuito de potencia del sistema híbrido (figura 3.54). El circuito de potencia posee transistores 2N3904, el mismo que es uno de los transistores NPN más usados para amplificación de corriente. Este tipo de transistor está diseñado para funcionar a bajas intensidades, bajas potencias, tensiones medias, y puede operar a velocidades razonablemente altas. Además es lo suficientemente robusto como para ser usado en nuestra etapa de potencia.

Las características eléctricas y valores máximos permitidos del transistor 2N3904 se muestran en la tabla 3.5.

Figura 3.52. Regulación de voltaje.

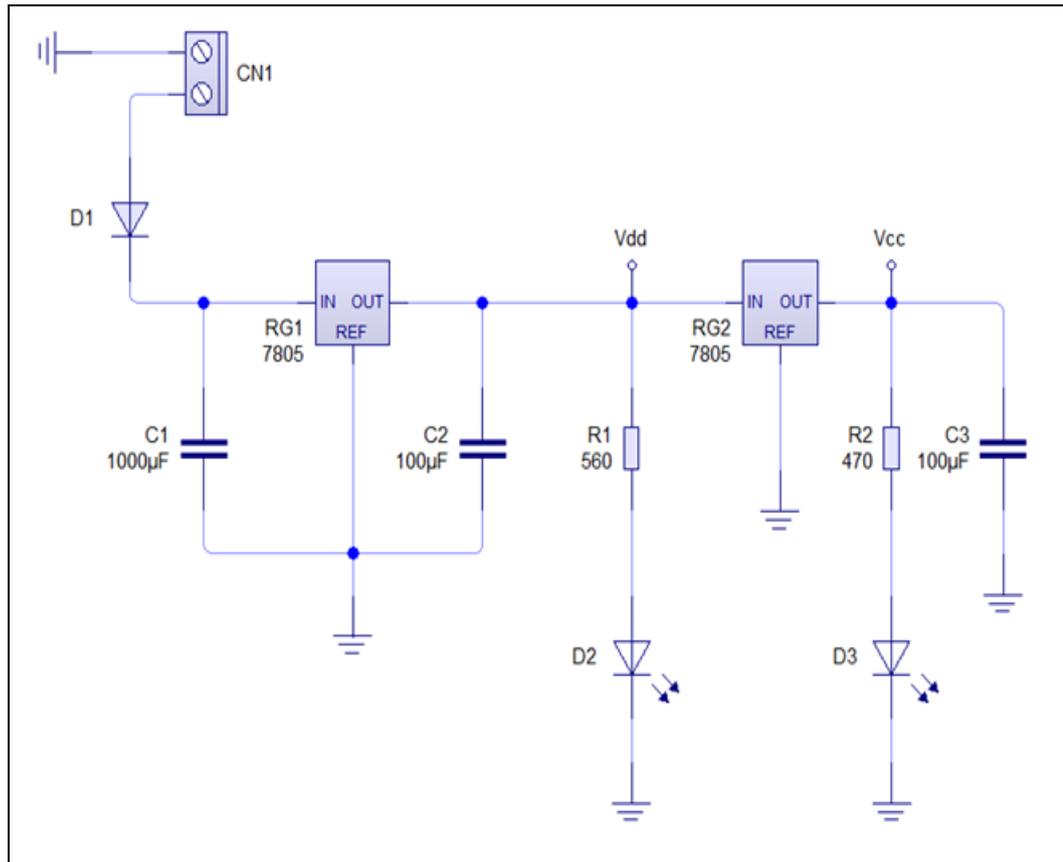


Figura 3.53. Circuito de potencia.

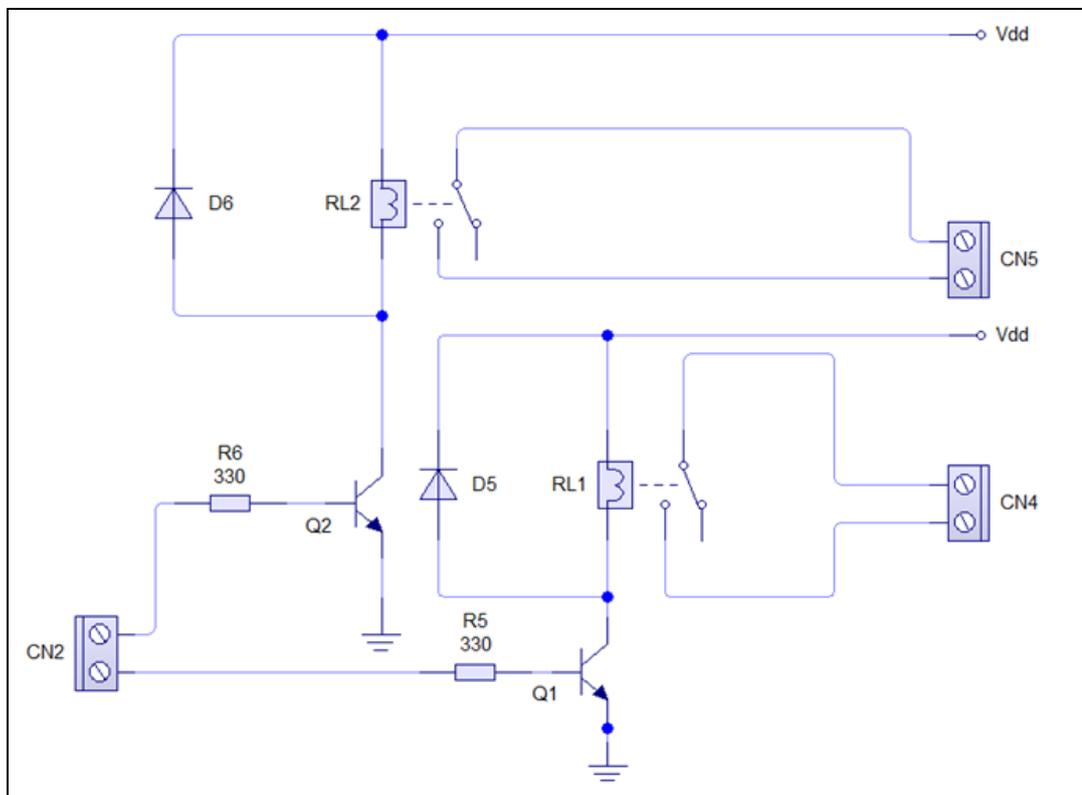


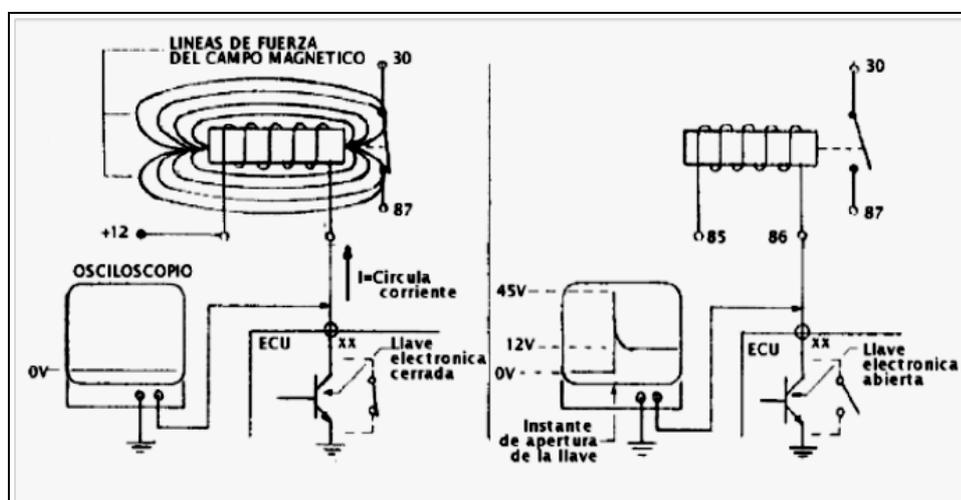
Tabla 3.5. Características eléctricas del transistor 2N3904.  
(Fuente: *SMALL SIGNAL NPN TRANSISTOR*.www.st.com)

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS			
Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_{CBO}$	Collector-Base Voltage ( $I_E = 0$ )	60	V
$V_{CEO}$	Collector-Emitter Voltage ( $I_B = 0$ )	40	V
$V_{EBO}$	Emitter-Base Voltage ( $I_C = 0$ )	6	V
$I_C$	Collector Current	200	mA
$P_{tot}$	Total Dissipation at $T_C = 25\text{ }^\circ\text{C}$	625	mW
$T_{stg}$	Storage Temperature	-65 to 150	$^\circ\text{C}$
$T_J$	Max. Operating Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$

Los relés empleados en la etapa de potencia son controlados por la unidad de control, en definitiva por el microcontrolador. Cuando un relé está operado, circula a través de su bobina una corriente, esta corriente genera un campo magnético que es el que atrae a la armadura. Cuando la corriente es interrumpida por la apertura del transistor 2N3904 (desactivación del relé), el campo magnético desaparece retrayéndose rápidamente (normalmente se dice que colapsa).

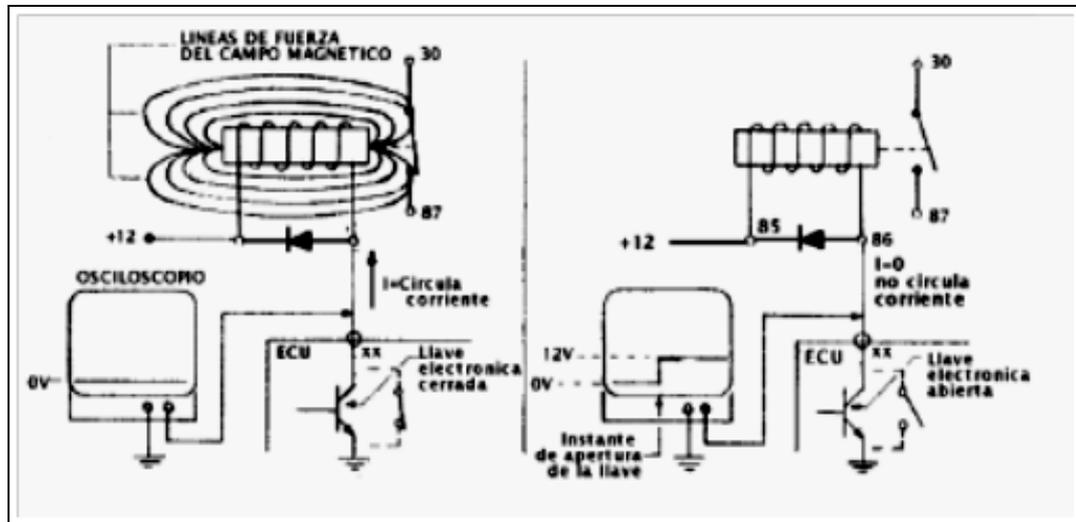
Las líneas de fuerza de dicho campo al retraerse, barren las espiras que conforman la bobina induciendo en ella una F.E.M. (Fuerza Electro Motriz), es decir, se produce un pico de tensión entre los extremos de la misma (figura 3.55). Este pico en relé del tipo común, pueden alcanzar niveles de 45 Voltios o más, estos niveles de tensión pueden resultar dañinos para los transistores 2N3904, utilizados para operar los relés o pueden propagarse hacia otros circuitos a través de la línea de positivo.

Figura 3.54. Efecto inductivo de los relays.  
(Fuente: CISE. Componentes electrónicos. www.cise.com)



Para eliminar este efecto inductivo (figura 3.56) provocado al desconectar el relé por medio del transistor, se coloca un diodo rectificador en paralelo a la bobina del relé.

Figura 3.55. Eliminación del efecto inductivo de los relays.  
(Fuente: CISE. Componentes electrónicos. www.cise.com)



### 3.4.3 Proceso de carga de la batería

Cuando el nivel de voltaje de la batería se encuentra en un límite mínimo (**11.6 V**), el microcontrolador recibe esa información, la procesa, y por medio de la etapa de potencia controla la activación del motor de arranque. Una vez que el motor de combustión interna funciona, el alternador gira solidario al motor combustión interna a través de una banda y una polea (figura 3.57).

#### 3.4.3.1 Alternador

La batería del sistema híbrido toma energía a través del alternador (figura 3.58). El alternador es un dispositivo que transforma la energía mecánica en energía eléctrica. Por lo tanto, este recarga la batería cuando el motor de combustión interna funciona.

El alternador está constituido (figura 3.59) por la polea del generador (1), conjunto del marco final de mando (2), cojinete del marco final de mando (3), rotor (4), cojinete del marco lateral trasero (5), marco lateral trasero (6), conjunto del regulador (7), buje de aislamiento del terminal (8), escobilla (9), rectificador(10), cubierta final trasera(11).

Figura 3.56. Acople del sistema de carga de la batería.



Figura 3.57. El alternador.

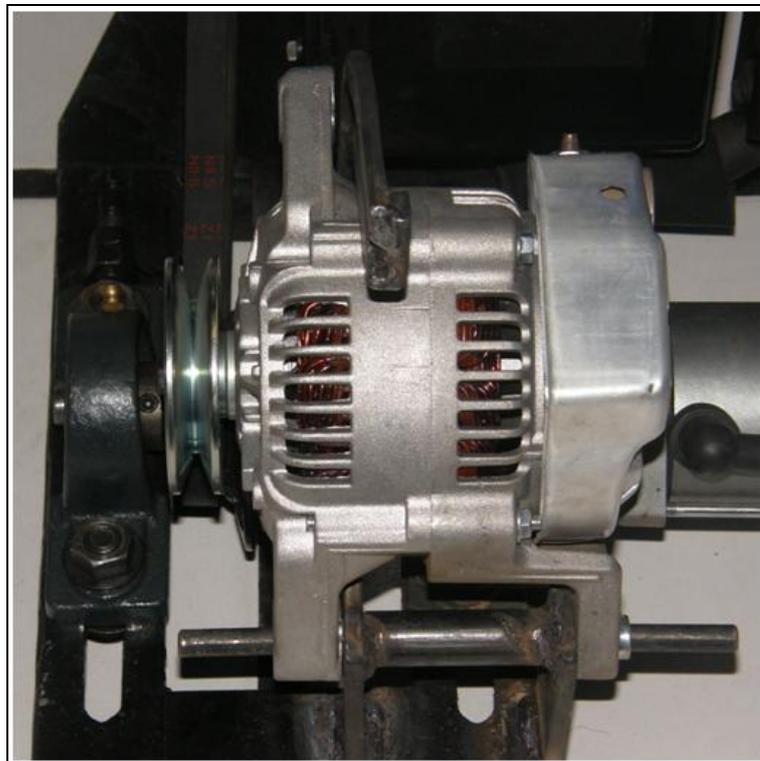
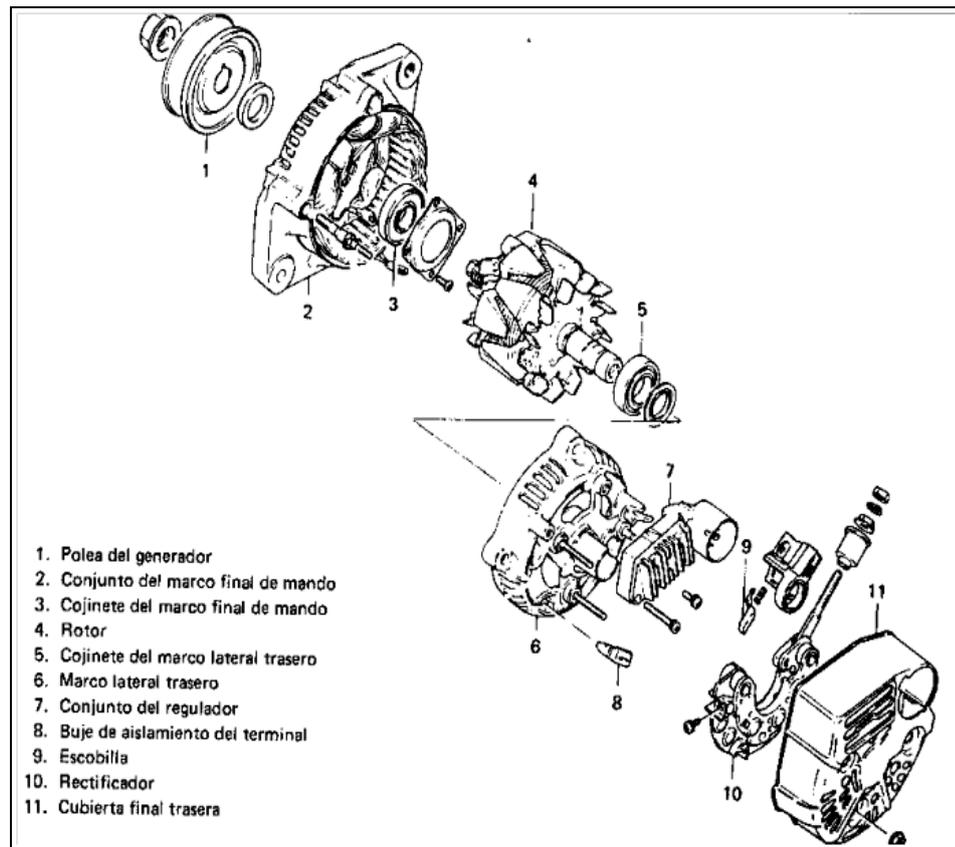


Figura 3.58. Constitución del alternador.  
(Fuente: ESPE. Alternador. [www.repositorio.espe.edu.ec](http://www.repositorio.espe.edu.ec))



- **Funcionamiento del alternador**

“Partimos de la base de que si un conductor eléctrico corta las líneas de fuerza de un campo magnético, se origina en dicho conductor una corriente eléctrica. La generación de corriente trifásica tiene lugar en los alternadores, en relación con un movimiento giratorio.

Según este principio, existen tres arrollamientos iguales independientes entre sí, dispuestos de modo que se encuentran desplazados entre sí  $120^\circ$ . Según el principio de la inducción, al dar vueltas el motor (imanes polares con devanado de excitación en la parte giratoria) se generan en los arrollamientos tensiones alternas senoidales y respectivamente corrientes alternas, desfasadas también  $120^\circ$  entre sí, por cual quedan desfasadas igualmente en cuanto a tiempo.”<sup>7</sup>

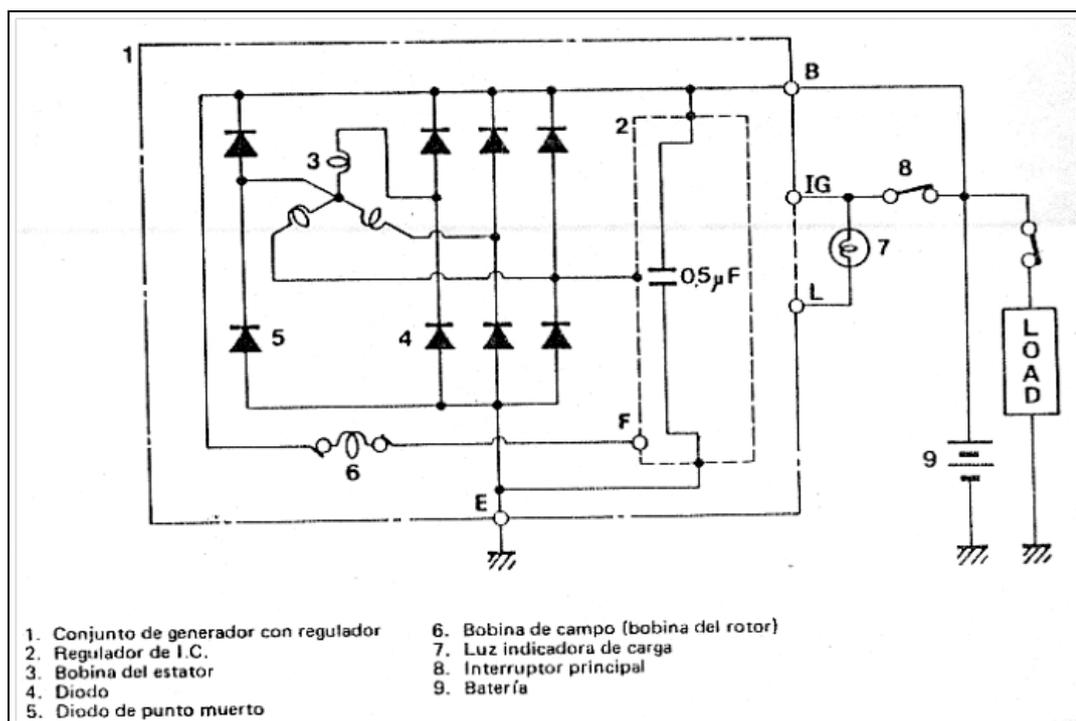
<sup>7</sup> ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO. *Diseño, instalación y truceje del sistema eléctrico para un vehículo de competición de rally de la marca Suzuki Forsa 1.* [www.repositorio.espe.edu.ec](http://www.repositorio.espe.edu.ec)

De esa forma tiene lugar un ciclo que se repite constantemente, produciendo la corriente alterna trifásica. El alternador está en paralelo con la batería del sistema porque una vez que el alternador ha alcanzado su régimen normal de trabajo transmite energía para la carga de la batería. La corriente alterna no puede ser almacenada en una batería, ni tampoco puede emplearse para alimentar componentes electrónicos, por ello se recurre a la rectificación.

- **Regulador para alternador**

El regulador (figura 3.60) gobierna la corriente de excitación y con ella el campo de excitación en el rotor del alternador, en función de la tensión generada en el alternador, de este modo, la tensión en bornes de dicho alternador se mantiene independiente del número de revolución y de carga. El regulador que está dentro de la estructura del alternador y es electrónico.

Figura 3.59. Regulador del alternador.  
(Fuente: ESPE. Alternador. [www.repositorio.espe.edu.ec](http://www.repositorio.espe.edu.ec))



- **Especificaciones del alternador**

El alternador tiene las siguientes características: Voltaje nominal de funcionamiento: 12 Voltios, corriente de salida máxima del alternador: 85 Amperios, velocidad del alternador en vacío: 1110 rev/min, voltaje regulado:  $14.5 \pm 0.3$  Voltios, dirección de

rotación: horario, velocidad máxima permisible del alternador: 15000 rev/min, rectificación: onda completa.

### **3.5 Visualización de datos**

El nivel de voltaje de la batería y la velocidad a la que gira el motor eléctrico es la información del sistema híbrido que será visualizada en la computadora a través del sistema de programación gráfica “Labview” (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench).

Los programas desarrollados mediante LabVIEW se denominan Instrumentos Virtuales (VIs), porque su apariencia y funcionamiento imitan los de un instrumento real. Sin embargo son análogos a las funciones creadas con los lenguajes de programación convencionales. Los VIs tienen una parte interactiva con el usuario y otra parte de código fuente, y aceptan parámetros procedentes de otros VIs. Todos los VIs tienen un panel frontal y un diagrama de bloques.

#### **3.5.1 Panel frontal**

Se trata de la interfaz gráfica del VI con el usuario. Esta interfaz recoge las entradas procedentes del usuario y representa las salidas proporcionadas por el programa. Un panel frontal está formado por una serie de botones, pulsadores, potenciómetros, gráficos, etc. Cada uno de ellos puede estar definido como un control o un indicador. Los primeros sirven para introducir parámetros al VI, mientras que los indicadores se emplean para mostrar los resultados producidos, ya sean datos adquiridos o resultados de alguna operación.

#### **3.5.2 Diagrama de bloques**

El diagrama de bloques constituye el código fuente del VI. En el diagrama de bloques es donde se realiza la implementación del programa del VI para controlar o realizar cualquier procesado de las entradas y salidas que se crearon en el panel frontal. El diagrama de bloques incluye funciones y estructuras integradas en las librerías que incorpora LabVIEW. En el lenguaje G las funciones y las estructuras son nodos elementales. Son análogas a los operadores o librerías de funciones de los lenguajes convencionales. Los controles e indicadores que se colocaron

previamente en el Panel Frontal, se materializan en el diagrama de bloques mediante los terminales.

### 3.5.3 Adquisición de datos (DAQ)

Labview incluye un grupo de VIs que permiten configurar, adquirir datos y enviarlos a los dispositivos DAQ (figura 3.61). El dispositivo DAQ ejecutará una variedad de funciones como son: la conversión analógica a digital A/D (nivel de voltaje de la batería) y operaciones de contador (velocidad del motor eléctrico). Cada dispositivo soporta diferentes DAQ y velocidades de generación de señal. También cada dispositivo DAQ es diseñado para plataformas de hardware y sistemas operativos específicos.

Figura 3.60. Adquisición de datos.  
(Fuente: National Instruments. Data acquisition. [www.ni.com/data-acquisition](http://www.ni.com/data-acquisition))



Antes de que un sistema de medición basado en computador pueda medir una señal física, como la variación de voltaje de la batería o el número de revoluciones del motor eléctrico, es necesario convertir la señal física en una eléctrica, como un voltaje o corriente. Un dispositivo DAQ insertable puede considerarse como un sistema de medición completo, aunque es sólo un componente del mismo. No siempre puede conectarse señales directamente a un dispositivo DAQ. En estos casos se debe utilizar accesorios acondicionadores de señal para acondicionar las señales antes de que el dispositivo DAQ las convierta en información digital. El

software controla el sistema DAQ adquiriendo los datos puros, analizando y presentando los resultados.

El computador recibe los datos puros directamente en el dispositivo DAQ. El software controla el sistema DAQ ordenando al dispositivo cuando y desde cuáles canales adquirir datos. Los dispositivos de medición de National Instrument incluyen el programa controlador NI – DAQ, una colección de VIs que se utilizan para configurar, adquirir datos y enviarlos hacia los dispositivos de medición.

Las especificaciones de la tarjeta DAQ son las siguientes:

- Canales de entrada analógica seleccionados por software: 8 canales unipolares y 4 diferenciales.
- Un convertidor A/D de 14 bits de aproximaciones sucesivas. Y 13 bits de modo diferencial. El rango máximo de muestreo de la tarjeta es 5 Mhz.
- Rangos de entradas analógicas seleccionadas por software:
  - Unipolares:  $\pm 10V$ .
  - Diferenciales:  $\pm 20V$ ,  $\pm 10V$ ,  $\pm 5V$ ,  $\pm 4V$ ,  $\pm 2.5V$ ,  $\pm 2V$ ,  $\pm 1.25V$ ,  $\pm 1V$ .
- Resolución de entrada: 14 bits en modo unipolar y 13 bits en modo diferencial.
- Voltaje de trabajo  $\pm 10V$ , con una impedancia de entrada de  $144K\Omega$  y una protección desobretensión de  $\pm 35V$ .
- Cuenta con 8 entradas analógicas y 8 digitales ambas pueden configurarse como entradas o salidas por medio de software además posee 8 salidas digitales con 2 salidas analógicas utilizando un convertidor de aproximaciones sucesivas.

Definida la señal, se escoge un sistema de medida. Una señal analógica debe ser convertida en una señal que entienda la computadora. Para ello es preciso definir un sistema de Conversión Analógica–Digital (A/D). Algunas de las consideraciones

ha tener en consideración antes de elegir un sistema de medida, será conocer el “Bit” de resolución del A/D, el rango del aparato y el rango de la señal a medir.

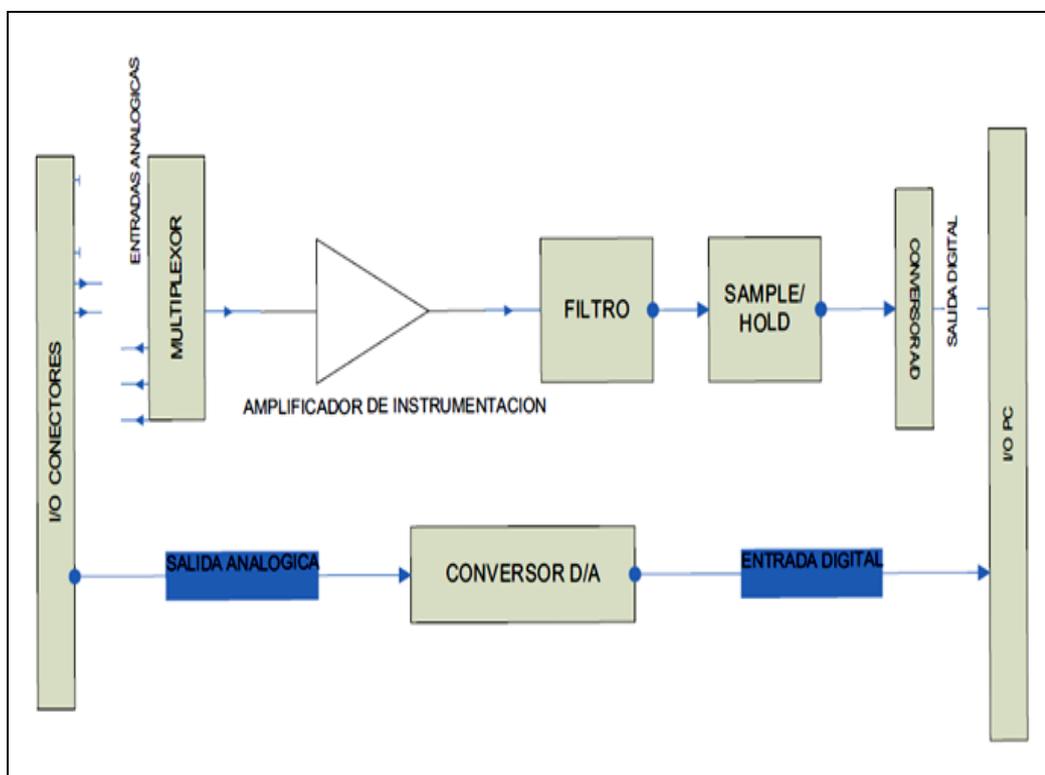
**Resolución:** Los números de Bits usados para representar una señal analógica determinan la resolución del A/D. A mayor resolución mayor número de divisiones, dentro del cual, el sistema puede “romper” el rango del convertidor y por lo tanto, detectar el cambio más pequeño.

**Rango del aparato:** El rango se refiere al nivel mínimo y máximo de la señal analógica que el convertidor A/D pueda digitalizar. Muchos aparatos para la adquisición de datos tienen características de rangos seleccionables, tanto que se puede definir el rango del convertidor para que la señal a tomar sea la de mayor ventaja para la resolución disponible.

### 3.5.4 Diagrama de bloques de una tarjeta DAQ

Internamente la estructura del DAQ (figura 3.62) es como se muestra a continuación:

Figura 3.61. Estructura interna del DAQ.  
(Fuente: National Instruments. Data acquisition. [www.ni.com/data-acquisition](http://www.ni.com/data-acquisition))



### 3.5.5 Interfaces y Periféricos

Los pines de entrada y salida del DAQ (figura 3.63) se muestra a continuación:

Figura 3.62. Pinout de la tarjeta DAQ.  
(Fuente: National Instruments. Data acquisition. [www.ni.com/data-acquisition](http://www.ni.com/data-acquisition))

GND	1	17	P0.0
AI 0/AI 0+	2	18	P0.1
AI 4/AI 0-	3	19	P0.2
GND	4	20	P0.3
AI 1/AI 1+	5	21	P0.4
AI 5/AI 1-	6	22	P0.5
GND	7	23	P0.6
AI 2/AI 2+	8	24	P0.7
AI 6/AI 2-	9	25	P1.0
GND	10	26	P1.1
AI 3/AI 3+	11	27	P1.2
AI 7/AI 3-	12	28	P1.3
GND	13	29	PFI 0
AO 0	14	30	+2.5 V
AO 1	15	31	+5 V
GND	16	32	GND

### 3.5.6 Procesamiento de datos

Con el entorno gráfico de programación de Labview se comienza a programar a partir del panel frontal. En primer lugar se define y selecciona de la paleta de controles todos los controles e indicadores que se emplearán para introducir los datos procedentes del sistema híbrido y presentar en pantalla los resultados.

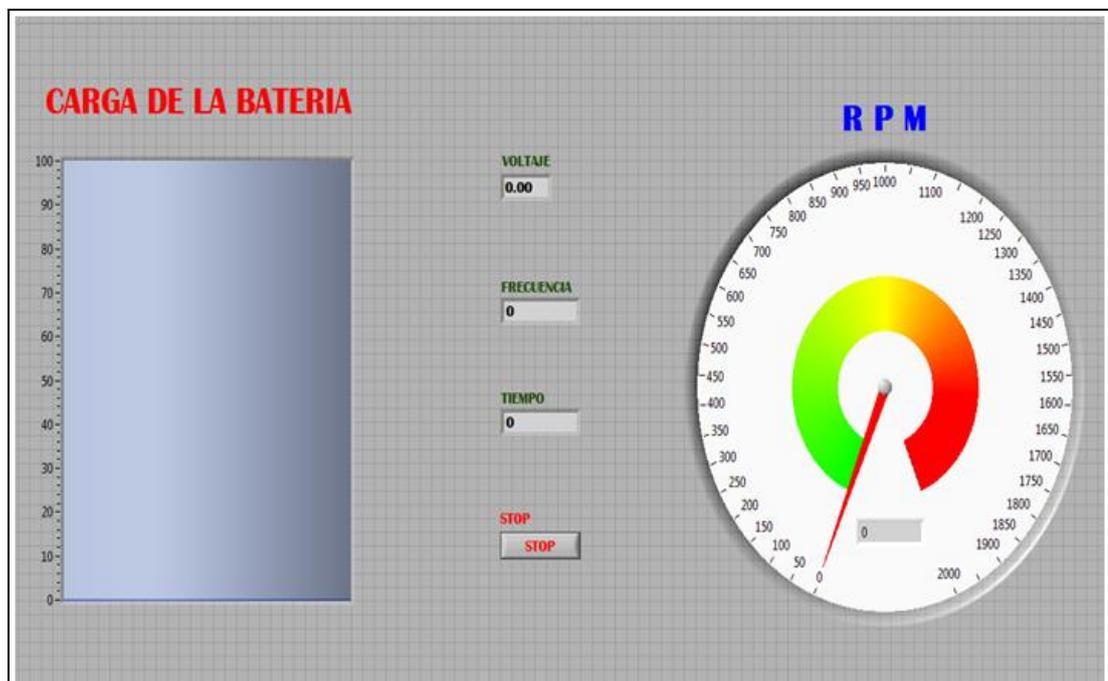
Una vez colocados en la ventana correspondiente al panel frontal todos los objetos necesarios, debe pasarse a la ventana Diagram (menú Windows > Show Diagram), que es donde se realiza la programación propiamente dicha (diagrama de bloques). Al abrir esta ventana, en ella se encuentran los terminales correspondientes a los objetos situados en el panel frontal, dispuestos automáticamente por Labview. Se debe ir situando las funciones, estructuras, etc. que se requieran para el desarrollo del programa, las cuales se unen a los terminales mediante cables.

Para facilitar la tarea de conexión de todos los terminales, en el menú “Help” puede elegirse la opción “Show Help”, con lo que al colocar el cursor del ratón sobre un elemento aparece una ventana con información relativa a éste (parámetros de entrada y salida). Además, si se tiene seleccionado el cursor de cableado, al situar éste sobre un elemento se muestran los terminales de forma intermitente.

### 3.5.7 Panel frontal en Labview del sistema híbrido

Esta interfaz recoge las entradas procedentes del sistema híbrido y representa las salidas proporcionadas por el programa. El panel frontal del sistema híbrido (figura 3.64) está formado por gráficas de un acumulador de energía (batería), indicadores y un velocímetro (contador del número de revoluciones del motor eléctrico).

Figura 3.63. Panel frontal del sistema en Labview.

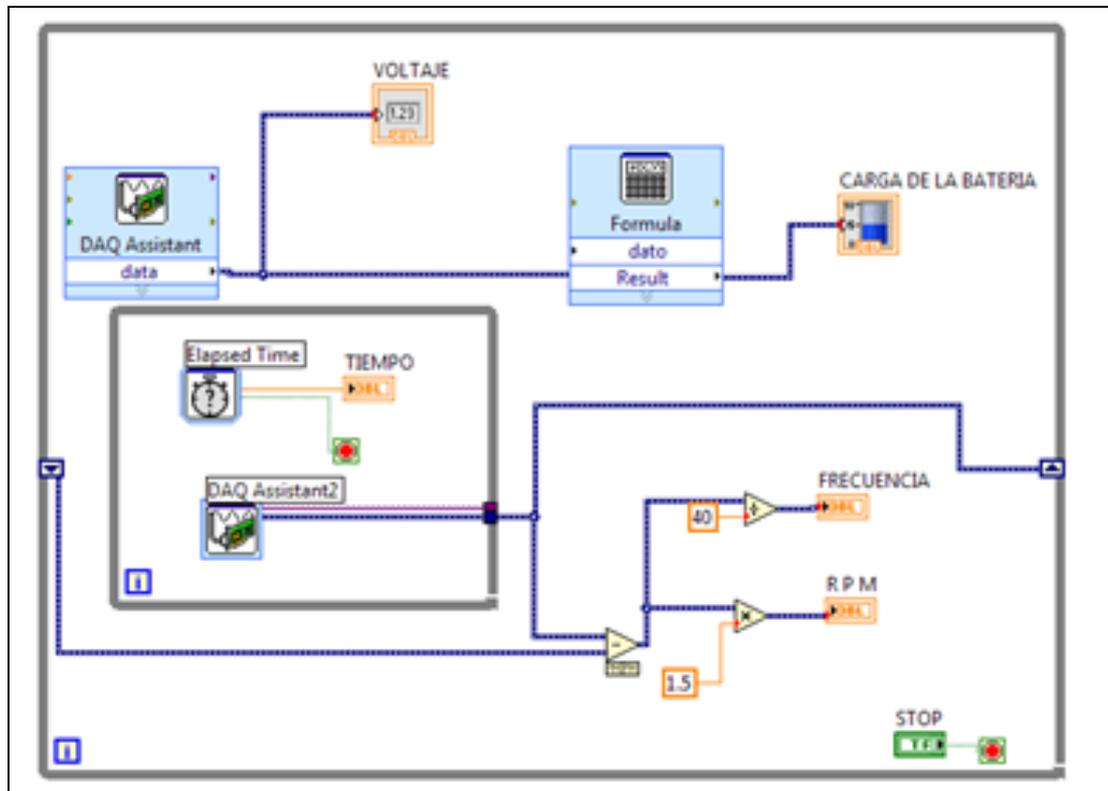


### 3.5.8 Diagrama de bloques en Labview del sistema híbrido

En el diagrama de bloques es donde se realiza la implementación del programa del VI (instrumentos virtuales) para visualizar los datos del sistema híbrido (figura 3.65) mediante el procesamiento de las entradas y salidas que se crearon en el panel frontal.

El diagrama de bloques incluye funciones matemáticas para el cálculo de la velocidad y las estructuras integradas para la visualización del nivel de voltaje de la batería. Los controles e indicadores que se colocaron previamente en el Panel Frontal, se materializan en el diagrama de bloques mediante los terminales.

Figura 3.64. Diagrama de bloques del sistema en Labview.



### 3.6 Conclusiones

- Para la creación y comprobación del principio de funcionamiento de un sistema híbrido – configuración serie, es necesario que se diferencie claramente los componentes y elementos de las dos etapas (térmica y eléctrica) presentes en el sistema. La etapa térmica tiene como finalidad cargar la batería del sistema híbrido, cuando el nivel de voltaje en el acumulador de energía llega a un mínimo valor admisible. La función de la etapa eléctrica es la de proveer de potencia al motor eléctrico.
- El control de la velocidad del motor eléctrico se lo realiza a través de un driver ó controlador de velocidad. El driver requiere para su funcionamiento una alimentación monofásica de 220 VAC, nivel de voltaje que se logra

obtener a la salida del inversor (convertidor de corriente continua en corriente alterna).

- Como fuente de almacenamiento de energía se utiliza una batería de S3 de plomo – ácido de 12 VDC de capacidad nominal con 40 Amperios – h de capacidad disponible. Los momentos de funcionamiento o de detenimiento del motor de combustión interna depende únicamente del nivel de voltaje de batería de plomo ácido.

## CAPÍTULO IV

### PRUEBAS DEL SISTEMA HÍBRIDO EN SERIE

#### 4.1 Introducción

Este capítulo presenta un análisis de pruebas generales del sistema híbrido en configuración serie; en donde se especifica los resultados obtenidos, los niveles de autonomía, tiempo de carga de la batería, modo de operación y costo de producción del sistema.

#### 4.2 Prueba de autonomía del sistema híbrido

Una vez concluida la elaboración del sistema híbrido en configuración serie, se procede a poner en marcha y realizar las pruebas necesarias para la verificación de funcionamiento y obtención de resultados del sistema.

##### 4.2.1 Energía que aporta el combustible

La energía que aporta el combustible (gasolina) del motor de combustión interna es:

$$E_d = C_t \times P_c \times \delta \quad (\text{Ec. 4.1})$$

Donde:

**Ed:** Energía que aporta el combustible (*kcal*).

**Ct:** Consumo total (*l*).

**Pc:** Poder calorífico de la gasolina **10509 kcal/kg**.

**δ:** Densidad de la gasolina<sup>8</sup> **0.76 kg/l**.

Luego de probar el sistema, se determinó que el consumo de combustible del motor de combustión interna por hora es aproximadamente de **1.2 l**.

---

<sup>8</sup> CENGEL. Yunus. *TERMODINÁMICA*. McGraw – Hill. Quinta edición. México.2002. P. 925.

Reemplazando los valores en la ecuación 4.1, se calcula la energía aportada por la gasolina.

$$Ed = 1.2 \text{ l/h} \times 10509 \text{ kcal/kg} \times 0.76 \text{ kg/l} \quad (\text{Ec. 4.2})$$

$$Ed = 9584.208 \text{ kcal/h} \quad (\text{Ec. 4.3})$$

#### 4.2.2 Energía que consume el motor eléctrico

Para el cálculo de la energía que consume el motor eléctrico, en diferentes condiciones de funcionamiento, se procede a medir la corriente eléctrica, en amperios, a la entrada del motor eléctrico; es decir, a la salida del driver (controlador de velocidad). El intervalo de medición se realiza cada 30 segundos con un incremento en el número de revoluciones del motor eléctrico de 200 rpm. Esta variación de tiempo y velocidad en el motor es adecuada para muestrear el consumo de energía.

Los resultados obtenidos de la medición se muestran en la tabla 4.1, valores de corriente consumida por el motor eléctrico vs velocidad del motor eléctrico. En la figura 4.1 se puede observar la curva de consumo de corriente eléctrica del motor eléctrico.

Utilizando los valores de la tabla 4.1 y la figura 4.1, se calcula un valor aproximado del consumo de energía del motor eléctrico a través de una aproximación lineal (figura 4.2).

Partiendo de la curva aproximada del consumo de corriente del motor eléctrico (figura 4.2) se puede obtener la ecuación de la recta. En primer lugar es necesario calcular la pendiente de la recta entre los puntos **a** y **b**.

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (\text{Ec. 4.4})$$

Donde:

**m**: La pendiente entre dos puntos.

**y<sub>2</sub>**: Coordenada de “y” del punto 2 (**460**).

$y_1$ : Coordenada de “y” del punto 1 (**270**).

$x_2$ : Coordenada de “x” del punto 2 (**6**).

$X_1$ : Coordenada de “x” del punto 1 (**0.5**).

Tabla 4.1. Consumo de corriente del motor eléctrico.

INTERVALO DE TIEMPO DE MEDICIÓN (min)	VELOCIDAD DEL MOTOR ELÉCTRICO (rpm)	CORRIENTE CONSUMIDA POR EL MOTOR ELÉCTRICO (mA)
0.5	150	270
1	300	290
1.5	450	320
2	600	340
2.5	750	370
3	900	390
3.5	1050	410
4	1200	420
4.5	1350	430
5	1500	440
5.5	1650	450
6	1800	460

Reemplazando los valores en la ecuación 4.4.

$$m = \frac{460 - 270}{6 - 0.5} \quad (\text{Ec. 4.5})$$

La pendiente entre los puntos **a** y **b** de la curva aproximada de consumo de corriente del motor eléctrico es:

$$m = 34.5 \quad (\text{Ec. 4.6})$$

De la ecuación general de la recta.

$$y - y_1 = m(x - x_1) \quad (\text{Ec. 4.7})$$

Donde:

**y:** Variable “y”

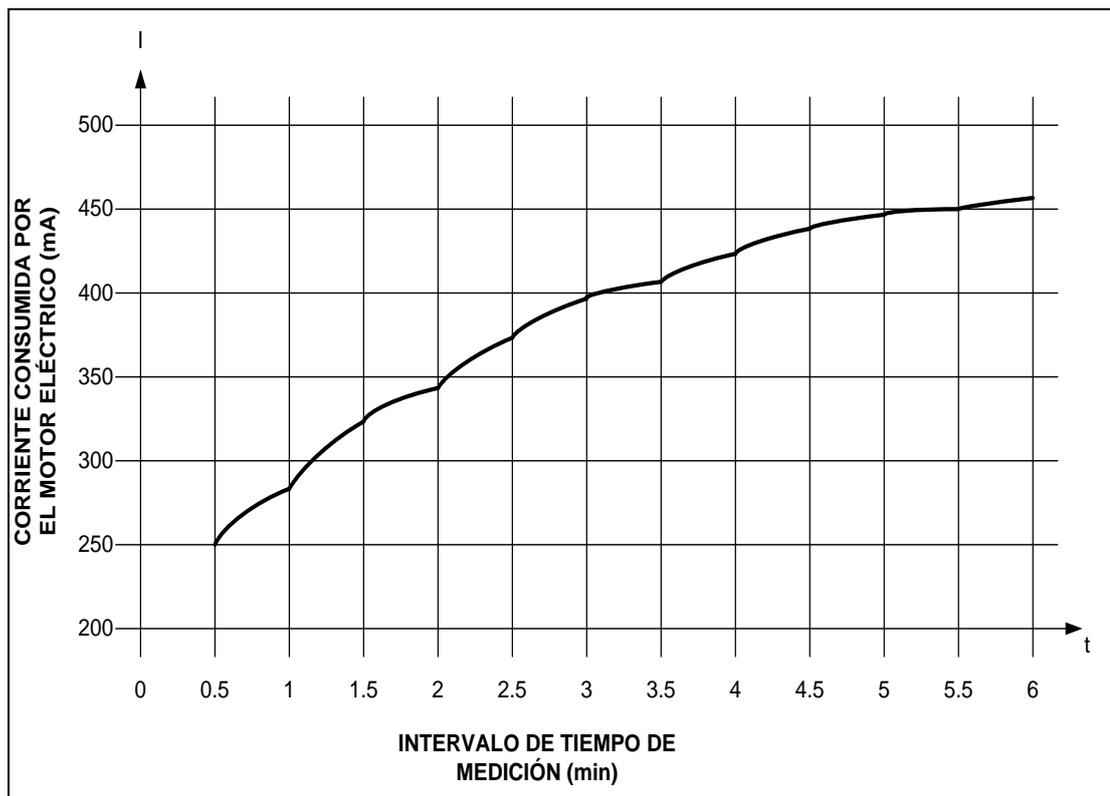
**y<sub>1</sub>:** Coordenada de “y” del punto 1.

**m:** La pendiente entre dos puntos.

**x:** Variable “x”

**x<sub>1</sub>:** Coordenada de “x” del punto 1.

Figura 4.1. Curva de consumo de corriente del motor eléctrico.



Homologando la ecuación 4.7 con la variable de corriente en función del tiempo.

$$i - i_1 = m(t - t_1) \quad (\text{Ec. 4.8})$$

Donde:

**i:** La corriente eléctrica en función del tiempo (*mA*).

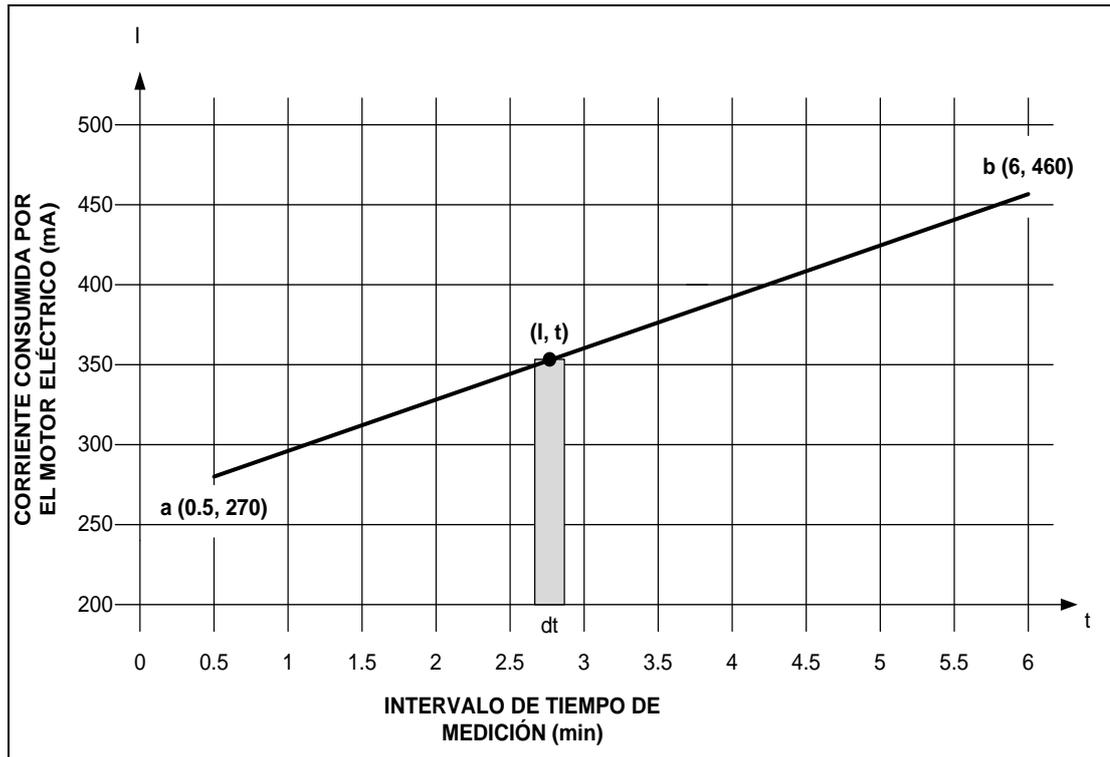
**i<sub>1</sub>:** Corriente eléctrica inicial (**270 mA**).

**m:** La pendiente entre dos puntos **34.5**.

**t:** Tiempo (*seg*).

**t<sub>1</sub>:** Tiempo inicial (**0.5 min**).

Figura 4.2. Aproximación de la curva de consumo de corriente



Reemplazando los valores en la ecuación 4.8.

$$i - 270 = 34.5 (t - 0.5) \quad (\text{Ec. 4.9})$$

Despejando la corriente  $i(t)$  de la ecuación 4.9.

$$i(t) = 34.5t + 252.75 \quad (\text{Ec. 4.10})$$

La ecuación de la potencia eléctrica.

$$P_c = v \times i \quad (\text{Ec. 4.11})$$

Donde:

$P_c$ : Potencia consumida por el motor eléctrico ( $mW$ ).

$v$ : Voltaje de alimentación ( $V$ ).

$i$ : Corriente consumida en función del tiempo ( $mA$ ).

La ecuación de la energía eléctrica.

$$E = P_C \times t \quad (\text{Ec. 4.12})$$

Donde:

**E:** Energía eléctrica consumida por el motor eléctrico ( $W \cdot \text{min}$ ).

**P<sub>C</sub>:** Potencia consumida por el motor eléctrico ( $mW$ ).

**t:** tiempo ( $\text{min}$ ).

Combinando la ecuación 4.11 con la ecuación 4.12.

$$E = v \times i \times t \quad (\text{Ec. 4.13})$$

Derivando la ecuación 4.13 se obtiene la razón de cambio de la energía eléctrica consumida en función del tiempo.

$$\partial E = (v \times i) \cdot \partial t \quad (\text{Ec. 4.14})$$

Integrando la ecuación 4.14 y asumiendo el voltaje de alimentación como una constante de 220V.

$$\int \partial E = 220 \times \int_{0.5}^6 i \cdot \partial t \quad (\text{Ec. 4.15})$$

Reemplazando la ecuación 4.10 en la ecuación 4.15.

$$E = 220 \times \int_{0.5}^6 (34.5t + 252.75) \cdot \partial t \quad (\text{Ec. 4.16})$$

Resolviendo la ecuación 4.16.

$$E = 220 \times \left| 17.25t^2 + 252.75t \right|_{0.5}^6 \quad (\text{Ec. 4.17})$$

Reemplazando los límites en la ecuación 4.17.

$$E = 220 \left[ (17.25(6^2) + 252.75(6)) - (17.25(0.5)^2 + 252.75(0.5)) \right] \quad (\text{Ec. 4.18})$$

La energía consumida por el motor eléctrico es:

$$E \approx 441.5 \text{ W} \cdot \text{min} \quad (\text{Ec. 4.19})$$

#### 4.3 Potencia que entrega la batería a los consumidores

La potencia que provee la batería a todos los consumidores, los mismos que se encuentran funcionando a máxima carga.

$$P_b = v_b \times i_b \quad (\text{Ec. 4.20})$$

Donde:

$P_b$ : Potencia que entrega la batería ( $W$ ).

$v_b$ : Voltaje mínimo de la batería ( $11.6 \text{ V}$ ).

$i_b$ : Corriente que entrega la batería a los consumidores ( $7A$ ).

Reemplazando los valores en la ecuación 4.20.

$$P_b = 11.6 \text{ V} \times 7 \text{ A} \quad (\text{Ec. 4.21})$$

$$P_b \approx 80 \text{ W} \quad (\text{Ec. 4.22})$$

#### 4.4 Potencia que entrega el alternador a la batería

La potencia que provee el alternador a la batería:

$$P_a = v_b \times i_a \quad (\text{Ec. 4.23})$$

Donde:

$P_a$ : Potencia que provee el alternador ( $W$ ).

$v_b$ : Voltaje nominal de la batería ( $12 \text{ V}$ ).

$i_a$ : Corriente que entrega el alternador en horas ( $85 \text{ A/h}$ ).

Reemplazando los valores en la ecuación 4.23.

$$P_a = 12 V \times 85 A/h \quad (\text{Ec. 4.24})$$

$$P_a \approx 1020 W/h \quad (\text{Ec. 4.25})$$

## 4.5 Tiempo de carga de la batería

### 4.5.1 Tiempo de carga teórico

Por medio de la relación entre la cantidad de potencia que entrega el alternador a la batería y la potencia que entrega la batería a los consumidores del sistema híbrido, se puede calcular el tiempo (teórico) necesario para cargar la batería hasta su voltaje máximo permitido de **12.5 VDC**.

$$T_c = P_b / P_a \quad (\text{Ec. 4.26})$$

Donde:

$T_c$ : Tiempo de carga (*min*).

$P_b$ : Potencia que entrega la batería a los consumidores (**80 W**).

$P_a$ : Potencia que entrega el alternador a la batería (**1020 W/h**).

Reemplazando los valores en la ecuación 4.26.

$$T_c = 80 W / 1020 W/h \quad (\text{Ec. 4.27})$$

$$T_c \approx 4.7 \text{ min} \quad (\text{Ec. 4.28})$$

En estas condiciones, el tiempo necesario para que el voltaje de la batería vuelva a disponer de su voltaje máximo de 12.5 VDC es de aproximadamente 4.7 minutos. Cuando la batería alcanza estos niveles de voltaje el motor de combustión interna se apaga automáticamente por medio del relé de control, el mismo que es controlado por la unidad de control electrónica del sistema.

#### 4.5.2 Tiempo de carga real

La carga de la batería lo realiza el alternador a través del movimiento del motor de combustión interna. Por diseño del sistema híbrido, el alternador empieza a funcionar automáticamente cuando el nivel de voltaje de la batería es de **11.6 VDC**, considerando este valor como mínimo. El tiempo real que le toma al sistema en cargar la batería hasta un valor de tensión máxima de **12.5 VDC** es de **3 minutos**.

#### 4.6 Costo del consumo de combustible

De la ecuación de la energía aportada por un combustible:

$$E_d = V_c \times \delta \times P_c \quad (\text{Ec. 4.29})$$

Donde:

$E_d$ : Energía que aporta el combustible (**9584.208 kcal/h**).

$V_c$ : Volumen de combustible consumido (*l*).

$\delta$ : Densidad de la gasolina **0.76 kg/l**.

$P_c$ : Poder calorífico de la gasolina **10509 kcal/kg**.

Despejando el volumen de combustible consumido de la ecuación 4.29.

$$V_c = E_d / \delta \times P_c \quad (\text{Ec. 4.30})$$

Reemplazando valores de la ecuación 4.30.

$$V_c = \frac{9584.208 \text{ kcal/h}}{0.76 \text{ kg/l} \times 10509 \text{ kcal/kg}} \quad (\text{Ec. 4.31})$$

$$V_c = 1.2 \text{ l} \quad (\text{Ec. 4.32})$$

El precio oficial de venta al público de la gasolina súper es: **\$2.18/gal**

**Por lo tanto el costo de combustible por hora es de \$0.74**

#### 4.7 Modo de operación del sistema híbrido

Para demostrar el principio del sistema híbrido en configuración serie, se utiliza un motor eléctrico de 0.5 hp, el mismo que debe ser conectado a una tracción posterior a través de un conjunto diferencial. Para el encendido del sistema híbrido, se debe asegurar que el sistema de tracción del motor eléctrico se encuentre en la posición N (neutro). Finalmente se acciona el switch de control y el sistema encenderá.

Si se desea usar el motor eléctrico en sentido horario se coloca la palanca del sistema de tracción en la posición D (drive), caso contrario (motor eléctrico en sentido antihorario) debe llevarse la palanca de tracción a la posición R (reversa). Para la variación de la velocidad con la que gira el motor eléctrico es necesario pisar el pedal del acelerador, dependiendo de la velocidad que se requiere.

#### 4.8 Costo de producción del sistema

Para la construcción del sistema híbrido – configuración serie, se contó con conocimientos en las áreas de mecánica automotriz, electrónica, soldadura, pintura y mecánica industrial. Las herramientas y equipos de mecánica fueron proporcionados por la Universidad del Azuay.

La inversión realizada para la construcción del sistema híbrido es de aproximadamente 2250 dólares y el tiempo requerido para la investigación y desarrollo es de aproximadamente 1 año. En la tabla 4.2 se muestra el desglose de costos de materiales y equipos utilizados.

Tabla 4.2. Costos de materiales y equipos.

RUBROS	UNIDAD	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL
BATERÍA DE 40 Amp - H	UI	65	1	115
INVERSOR 12 VDC – 120 VAC	UI	80	1	130
REGULADOR AC 120 VAC – 220 VAC	UI	30	1	30
ACCIONAMIENTO DE LA PALANCA DE CAMBIOS	UI	60	1	60
PEDAL DEL ACELERADOR	UI	30	1	30
DRIVER DE CONTROL DE VELOCIDAD	UI	300	1	300

MOTOR ELÉCTRICO DE 0.5 HP	UI	200	1	200
REGULADOR DE TENSIÓN	UI	30	1	30
PARTIDORES DE TENSIÓN	UI	15	1	15
CIRCUITO DE POTENCIA	UI	50	1	100
UNIDAD DE CONTROL	UI	70	1	170
MOTOR DE ARRANQUE	UI	60	1	60
MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA	UI	250	1	250
ALTERNADOR	UI	70	1	70
DAQ	UI	250	1	250
ALAMBRE CALIBRE #14	UI	0.5	30	60
METAL MECÁNICO	UI	120	1	120
JUEGO DE PERNOS Y TURCAS	UI	0.5	30	15
TUBOS DE ACERO	UI	8	10	80
MATERIALES DE PINTURA	UI	50	1	75
CABLES Y ACCESORIOS PARA LAS CONEXIONES	UI	2	30	60
COMBUSTIBLES	UI	3	10	30

<b>TOTAL</b>				<b>2250</b>
--------------	--	--	--	-------------

#### 4.9 Conclusiones

- Las pruebas realizadas prueban el cumplimiento de las metas planteadas, alcanzando una velocidad de rotación del motor eléctrico de 1800 rpm, un consumo de combustible de  $1.2 \text{ l/h}$ , un aporte de energía térmica del motor de combustible de  $9584.208 \text{ kcal/h}$ , una energía de consumo por parte del motor eléctrico de  $441.5 \text{ W} - \text{min}$ , y un costo por hora de \$0.74.
- Los resultados de las pruebas muestran el bajo consumo de combustible fósil y la adecuada utilización de una energía renovable, energía eléctrica, disminuyendo así notablemente los elementos contaminantes hacia el ambiente.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El consumo de combustible del sistema híbrido – configuración serie disminuye considerablemente comparado con un sistema convencional, ya que el motor de combustión interna funciona únicamente en determinadas condiciones de marcha. De esta manera se logra reducir la contaminación por emisión de gases y ruidos durante el funcionamiento del motor eléctrico.
- Los sistemas híbridos son completamente autónomos; es decir no necesitan una carga externa, el único abastecimiento que necesita es el combustible (gasolina).
- Es factible la construcción un sistema híbrido en configuración serie con tecnología y equipos disponibles en el medio, manteniendo las prestaciones y autonomía que brindan los vehículos convencionales; sin embargo, es claro un aumento de los costos en los componentes, diseño y construcción de estos sistemas.
- Para un mayor tiempo en la autonomía del sistema se recomienda el uso de varias baterías de 12 VDC conectadas en paralelo y el reemplazo del generador de corriente por uno de mayor capacidad en amperios/h.
- En el caso de que el sistema híbrido – configuración serie desarrollado en este trabajo de grado sea implementado a un vehículo convencional de turismo se recomienda usar como único sistema de propulsión el motor eléctrico. Se propone reemplazar el motor térmico del por un motor eléctrico junto con el motor de combustión interna de baja potencia, similar a las que usan las motocicletas. Además eliminar el conjunto mecánico de caja de cambios debido a que la transmisión es completamente eléctrica, logrando beneficios como la disminución del peso neto y las pérdidas por eficiencia.
- Como sistema alternativo de carga de las baterías, se recomienda la implementación de frenos regenerativos o colocar pequeños alternadores o dínamos en cada rueda, con lo cual se consigue una cantidad de energía extra.

## BIBLIOGRAFÍA

### DOCUMENTOS IMPRESOS

- ALONSO. J: comp., ***Técnicas del Automóvil – Motores***. International Thomson Editores Spain Paraninfo, S.A. 2000. 10<sup>ma</sup> edición. España. pg. 755.
- BOJKO. J: comp., ***Manual de Inyección Electrónica***. Artes Gráficas Negri S.R.L. 2004. 1<sup>ra</sup> edición. Argentina. pg 658.
- BOLTON. W: comp., ***Mecatrónica***. Alfaomega. 2010. 4<sup>ta</sup> edición. México. pg 62.
- CENGEL. Yunus: comp., ***Termodinámica***. McGraw – Hill. Quinta edición. 2002. México. pg 925.
- HAMROCK. B: comp., ***Elementos de máquinas***. McGraw – Hill- Interamericana Editores [S.A]. 2000. 1<sup>ra</sup> Edición- México. pg 904.
- HERMOGENES. G: comp., ***La Electrónica en el Automóvil***. Grupo Editorial CEAC. 2002. 1<sup>ra</sup> edición. España. pg 292.
- RIBBENS. W: comp., ***Electrónica automotriz***. Limusa. Grupo Noriega 2008. 1<sup>ra</sup> edición. México D.F. pg 109.
- RICHARD. G: comp., ***Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley***. McGraw – Hill- Interamericana Editores [S.A]. 2008. 8<sup>va</sup> Edición- México. pg 1043.,
- TOALONGO. M: comp., ***Fundamentos de soldadura***. ProleLaser. 2006. 2<sup>da</sup> edición. Ecuador. pg 193.
- ZABLER. E: comp., ***Los sensores en el automóvil***. Robert Bosch GmbH. 2002. 1<sup>ra</sup> edición. Alemania. pg 148.

## REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

- BOSCH. **Manuales de baterías bosch**. [en línea]. Baterías Disponible en: <http://catalogobosch.com>. Agosto 2012.
- CISE. **Introducción al estudio de los vehículos híbridos**. [en línea]. Vehículos híbridos. Disponible en: <http://cise.com>. Enero 2012.
- CHICÓN. JUAN. – VIDAL. NARCÍS. **Los coches híbridos**. [en línea]. Electrónica del Automóvil. Disponible en: <http://mcatronic.com>. Diciembre 2011.
- ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO. **Diseño, instalación y trucaje del sistema eléctrico para un vehículo de competición de rally de la marca Suzuki Forsa 1**. [en línea]. Disponible en: <http://repositorio espe.edu.ec>. Septiembre 2012.
- FUNDACIÓN INSTITUTO TECNOLÓGICO PARA LA SEGURIDAD DEL AUTOMOVIL. **Tecnologías de propulsión híbridas**. [en línea]. Disponible en: <http://fundacionfitsa.org/>. Febrero 2012.
- INTERNATIONAL RECTIFIER. **IGBT sip module**. [en línea]. WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., [California 90245]. Disponible en: <http://irf.com>. Abril 2012
- INTERNATIONAL RECTIFIER. **3-phase bridge driver**. [en línea]. WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., [California 90245]. Disponible en: <http://irf.com>. Julio 2012
- MICROCHIP. **Speed Control of 3-Phase Induction Motor Using PIC18 Microcontrollers**. [en línea]. Padmaraja Yedamale Microchip Technology Inc. [West Chandler Blvd]. Disponible en: <http://microchip.com>. Febrero 2012

- MICROCHIP. **UPS Reference Design Using the dsPIC**. [en línea]. Sagar Khare Mohammad Kamil Microchip Technology Inc. [West Chandler Blvd]. Disponible en: <http://microchip.com>. Marzo 2012
- MICROCHIP. **PIC18FXX2**. [en línea]. Sagar Khare Mohammad Kamil Microchip Technology Inc. [Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.]. Disponible en: <http://microchip.com>. Abril 2012.
- MICROCHIP. **Switch Mode Battery Eliminator Based on a PIC16C72A**. [en línea]. Brett Duane Microchip Technology. [Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.]. Disponible en: <http://microchip.com>. Mayo 2012.
- RENASAS. **High speed power switching - Silicon N – Channel MOSFET**. [en línea]. Hitachi, Ltd. Semiconductor & Integrated Circuits. [Tokyo – Japan]. Mar. 2001. Disponible en: <http://renesas.com>. Mayo 2012.
- SIEMENS. **Controladores de velocidad (drivers)**. SINAMICS – G110. Disponible en: <https://support.automation.siemens.com>. Febrero 2012.
- TOYOTA MOTOR CORPORATION. **Toyota Hybrid System**. [en línea]. Public Affairs Division 4-8. [Koraku, Japón], Mayo 2003. Disponible en: <http://toyota.co.jp>. Enero 2012.
- TOYOTA MOTOR CORPORATION. **Prius Emergency Response Guide**. [en línea]. Public Affairs Division 4-8. [Koraku, Japón], 2000. Disponible en: <http://toyota.co.jp>
- UNIVERSIDAD POLITECNICA DEL LITORAL. **Implementación y Análisis de un Prototipo de Vehículo Híbrido**. [en línea]. Jorge Enrique Alcívar García. [Guayaquil – Ecuador]. 2006. Disponible en: <http://dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/416/1/718.pdf> . Febrero 2012.

## ANEXOS

## Anexo 1. Líneas de programación del software de control del sistema híbrido

```

list p=16f871
#include <p16f871.inc>

;=====
;"SOFTWARE DE CONTROL DEL GENERADOR DEL
; SISTEMA HÍBRIDO – CONFIGURACIÓN SERIE.
;=====
;=====
; ZONA DE DECLARACIÓN DE VARIABLES
;=====

N = 0x20
M = 0x21
cont1 = 0x22
cont2 = 0x23
cont3 = 0x24
index =0x25
size = 0x26
ch_cont = 0x27           ;contador de caracteres para cartel
temp = 0x28
guarda = 0x29
bandera = 0x2A
rs = 4
e = 0
org 0
goto inicio             ;vector de reset
;=====
; TABLA DE CARACTERES DE CARTELES
;=====
table  addwf PCL,1
;===== index = 0
;===== size = 2
retlw 'C'
retlw 'U'
retlw ':'

```

```

;===== index = 3
;===== size = 2
retlw 'R'
retlw 'S'
retlw ':'

;=====
ascii  addwf PCL,
retlw  '0'      ; 0
retlw  '1'      ; 1
retlw  '2'      ; 2
retlw  '3'      ; 3
retlw  '4'      ; 4
retlw  '5'      ; 5
retlw  '6'      ; 6
retlw  '7'      ; 7
retlw  '8'      ; 8
retlw  '9'      ; 9
retlw  'A'      ;10
retlw  'B'      ;11
retlw  'C'      ;12
retlw  'D'      ;13
retlw  'E'      ;14
retlw  'F'      ;15

;-----
; Bloque de configuraciones iniciales
;-----
inicio
    bcf 3,5
    movlw 0x7F      ;ciclo útil a 50% al momento de iniciar
    movwf CCPR1L

;-----
; Definición de E/S
; Modifica los registros TRIS (banco 1 de la RAM)
    bsf 3,5      ;banco 1
    clrf 8
    bcf 7,0      ;salida
    bsf 5,0      ;entrada

```

```

        bcf    5,1        ;salida
        bcf    5,4        ;salida
        bcf    7,2        ;RC2 salida
        bcf    7,1        ;RC1 salida
;-----
; Parámetros PWM
;-----
        movlw d'249'
        movwf PR2        ;frecuencia PWM = 1Khz
;-----
; ADCON1
;-----
        movlw b'00001110' ;RA0 analógico
        movwf ADCON1    ;justificado a la izquierda
;-----
; Configuración del TMR2
;-----
        bcf    3,5        ;banco 0
        movlw b'00000010'
        movwf T2CON
;-----
; ADCON0
;-----
        movlw b'10000000'
        movwf ADCON0
;-----
; Definición del CCP1CON MODO PWM
;-----
        movlw b'00001100'
        movwf CCP1CON
;-----
; BLOQUE PRINCIPAL
;-----
principal
        call ini_lcd      ;inicia el LCD para el trabajo
; Cartel CU:
        clrf index

```

```

        movlw d'2'
        movwf size
        call write
; Cartel RS:
        movlw 0xc0
        call chdir
        movlw d'3'
        movwf index
        movlw d'2'
        movwf size
        call write
        call dem_1s

;-----
; ENCIENDE TIMER
;-----

        bsf T2CON,2
        bcf PORTC,1
        bsf PORTA,1
        clrf bandera
; CONVERTIR
again   call convierte
        call act_cu
        call visualiza
        call compara
        call dem_100ms
        goto again

;=====
; BLOQUE DE SUBRUTINAS
;=====

; Subrutina de convertir
convierte   bsf ADCON0,0
            call dem_40us
            bsf ADCON0,2      ;GO
wait_con   btfsc ADCON0,2
            goto wait_con    ;down
            ;dato listo
            bcf ADCON0,0     ; Apago Conversor

```

```

        return
; Subrutina actualiza el ciclo útil
act_cu    movf ADRESH,w
          movwf CCPR1L
          return
compara   movf ADRESH,w
          movwf guarda
          movf guarda,w
          sublw 0xCA
          btfsc 3,0
          goto activa
          movf guarda,w
          sublw 0xFA
          btfsc 3,0
          return
desactiva bcf PORTA,1
          bcf bandera,0
          return
activa    btfsc bandera,0
          return
          bsf PORTA,1
          call dem_1s
          call dem_1s
          call dem_1s
          bsf PORTC,1
          call dem_1s
          call dem_1s
          call dem_1s
          bcf PORTC,1
          bsf bandera,0
          return
; Subrutina de visualiza
visualiza
          movf ADRESH,w
          andlw b'00001111'
          movwf temp
          movlw 0x84

```

```

        call dato
        swapf ADRESH,w
        andlw b'00001111'
        movwf temp
        movlw 0x83
        call dato
        movf ADRESH,w
        andlw b'00001111'
        movwf temp
        movlw 0xC4
        call dato
        swapf ADRESH,w
        andlw b'00001111'
        movwf temp
        movlw 0xC3
        call dato
        return
;=====
dato      call chdir
          movf temp,w
          call ascii
          movwf PORTD
          call enable
          call dem_40us
          return
;*****
;SUBRUTINAS DE CONTROL LCD
;*****
; Inicia display
ini_lcd   bcf PORTC,e      ;Rs = 1 (Modo Comando)
          bcf PORTA,rs     ;RS = 0 (Modo de Instrucciones)
;=====
;INICIO DE LA SECUENCIA DE RESET DEL CRISTAL
          call dem_5ms     ;demora de power UP
          movlw 0x38
          movwf PORTD
          call enable      ;enable

```

```

        call dem_40us
;Modo de transferencia de Datos: 8 bits
        ;Display en 2 líneas
        ;Matriz de 5x7 puntos
        movlw 0x38          ;funtion set = 38h
        movwf PORTD
        call enable        ;pulso de habilitación
        call dem_40us
;*****
;
;DISPLAY ON/OFF CONTROL
;*****
        ;display ON
        ;cursor ON
        ;cursor parpadea
        movlw 0x0e          ;display ON/OFF control = 0ch
        movwf PORTD
        call enable        ;pulso de habilitación
        call dem_40us
;*****
;
;ENTRY MODE SET INST
;*****
;La posición del cursor se incrementa (direcciones de la DD RAM)
;No desplazar el Dato
        movlw 6             ;entry mode set = 6
        movwf PORTD
        call enable        ;pulso de habilitación
        call dem_40us
;*****
;
;DISPLAY CLEAR
;*****
;limpia la RAM de display y pone el cursor en la posición cero
        movlw 1             ;display clear = 1
        movwf PORTD
        call enable        ;pulso de 1us en "E"
        call dem_1640us

```

```

,*****
,
;RAM A LA 80H
,*****
,
;limpia la RAM de display y pone el cursor en la posición cero
    movlw 0x80      ;display clear = 1
    movwf PORTD
    call enable     ;pulso de 1us en "E"
    call dem_40us
    bsf PORTA,rs    ;modo datos
    return

;=====
;Limpiar LCD
clr dsp      bcf PORTA,rs ;RS=0 modo instrucción
             movlw 1      ;1= clear LCD
             movwf PORTD  ;instrucción al puerto D
             call enable  ;pulso de habilitación
             call dem_1640us ;demora de borrado 2mS
             bsf PORTA,rs ;Rs=1 modo dato
             return

;=====
;Pulso de Habilidad
;=====
enable      bcf PORTC,e ;E=1 modo dato
            bsf PORTC,e ;E=0 modo instrucción
            nop
            nop
            nop
            nop
            bcf PORTC,e ;E=1 modo dato
            return

;=====
;Cambia de dirección en el LCD
chdir      bcf PORTA,rs ;Rs=0 modo instrucción
            movwf PORTD  ;la dirección viene en el acumulador
            call enable
            call dem_40us
            bsf PORTA,rs ;Rs=1 modo dato

```

```

return
;=====
;Escribe cualquier cartel en el LCD
;Antes de llamarla deben cargarse las variables "index" y "size"
;=====
write      clrf ch_cont      ;contador de caracteres del
           clrf PCLATH      ;cartel que se está sacando
next_char  movf index,w      ;indexo
           call tabla       ;tabla de caracteres del cartel
           movwf PORTD      ;saco caracter
           call enable      ;pulso enable
           call dem_40us     ;demora de ejecución
           movf ch_cont,w
           subwf size,w      ;resta ch_cont del size
           btfsc STATUS,2
           return           ;RETORNA, se escribió completo
;próximo caracter del cartel
           incf index
           incf ch_cont
           goto next_char
;=====
;Subrutinas de demora
;=====
;-----
;Demora de 0.5_mS
;-----
dem_0.5s   movlw d'100'
           movwf N          ;parámetro a cargar en contadores
           movlw d'75'
           movwf M          ;parámetro a cargar en contadores
           call demora
           return
;-----
;Demora de 3_mS
;-----
dem_3ms    movlw d'4'
           movwf N          ;parámetro a cargar en contadores

```

```

        movlw d'1'
        movwf M      ;parámetro a cargar en contadores
        call demora
        return

;-----
;Demora de 100_mS
;-----
dem_100ms      movlw d'100'
                movwf N      ;parámetro a cargar en contadores
                movlw d'5'
                movwf M      ;parámetro a cargar en contadores
                call demora
                return

;-----
;Demora de 5_mS
;-----
dem_5ms        movlw d'35'
                movwf N      ;parámetro a cargar en contadores
                movlw d'4'
                movwf M      ;parámetro a cargar en contadores
                call demora
                return

;-----
;Demora de 1S
;-----
dem_1s         movlw d'103'
                movwf N      ;parámetro a cargar en contadores
                movlw d'65'
                movwf M      ;parámetro a cargar en contadores
                call demora ;demora de 47us
                return

;-----
;Subrutina de DEMORA paramétrica general
;-----
demora         movf  N,w
                movwf cont1
                movwf cont2

```

```
                                movf  M,w  
                                movwf cont3  
loop                             decfsz cont1  
                                goto  loop  
                                movf  N,w  
                                movwf cont1  
                                decfsz cont2  
                                goto  loop  
                                movf  N,w  
                                movwf cont2  
                                decfsz cont3  
                                goto  loop  
                                return ;fin de subrutina retorna  
end
```